

Perzeption statischer thermischer Reize beim Menschen

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung des Doktorgrades der Humanbiologie
des Fachbereichs Humanmedizin der
Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Dipl. Phys. Raimund Beste
aus Hünden

Marburg 1977

Aus dem Institut für Physiologie der Universität Marburg/Lahn
Direktor: Prof. Dr. H. Hensel

Perzeption statischer thermischer Reize beim Menschen

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

**Erlangung des Doktorgrades der Humanbiologie
des Fachbereichs Humanmedizin der
Philipps-Universität Marburg**

vorgelegt von

**Dipl. Phys. Raimund Beste
aus Hüsten**

Marburg 1977

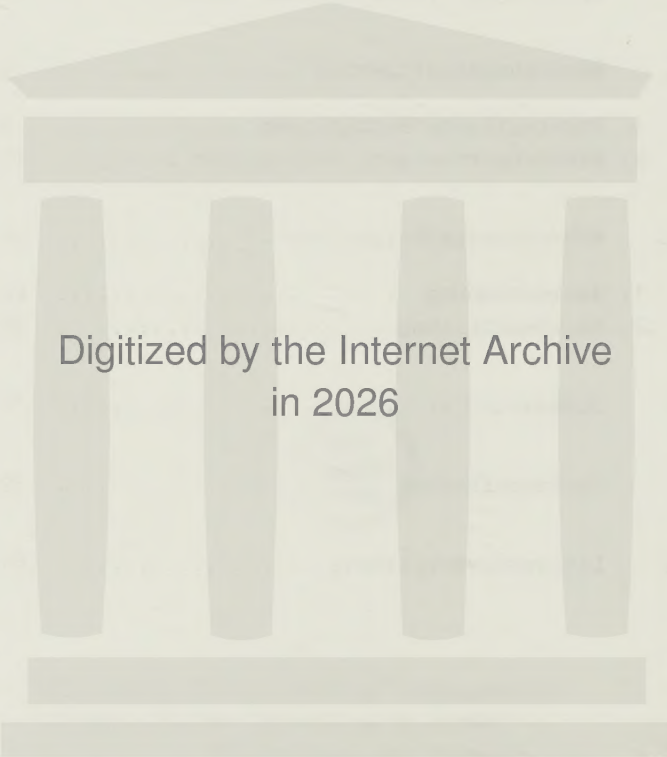


Angenommen vom Fachbereich Humanmedizin
der Universität Marburg am 8.7.1977
gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs

Dekan:	Prof.Dr.F.Neurath
Referent:	Prof.Dr.H.Hensel
Correferent:	Prof.Dr.G.Hildebrandt

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
I. Einleitung	1
II. Wahrnehmungssituation	3
1. Physikalische Bedingungen	3
2. Wahrnehmerbezogene Bedingungen	13
III. Wahrnehmungsfähigkeiten	24
1. Reizerkennung	26
2. Reizbeurteilung	38
IV. Diskussion	52
V. Zusammenfassung	59
VI. Literaturverzeichnis	61



Digitized by the Internet Archive
in 2026

I. Einleitung

Im Gegensatz zu zahlreichen Studien mit Temperaturänderungen als thermischen Reizen (Übersicht: Hensel, 1973b,c) findet man nur wenige Untersuchungen mit zeitlich konstanten Reizen, meistens mit kleiner Reizfläche und kurzer Reizzeit. Diese Vernachlässigung der Wahrnehmungsfähigkeiten des Menschen für konstante Temperaturen ist umso unverständlicher, wenn man bedenkt, daß der Mensch in normalen klimatischen Abläufen vornehmlich längerfristig konstanten oder sich langsam ändernden Temperaturen ausgesetzt ist und sowohl beim Komfort-Erleben wie bei der Thermoregulation sich mit diesen Umweltbedingungen auseinandersetzt. Dies ist nur mit einem Temperatursinn möglich, der auch Informationen von absoluten Temperaturgrößen oder Wärmehalten vermittelt. In diese Richtung weisen auch die Befunde beim Tier über Rezeptoreigenschaften bei statischen Reizen (Übersicht: Hensel, 1976). Das Fehlen von Dauerempfindungen beim Menschen bei punktförmigen oder kleinflächigen Reizen (Kenshalo u. Scott, 1966) widerlegt dies nur scheinbar, da mit zunehmender Reizflächengröße die "Adaptationsbreite" (Hensel, 1952) der Temperaturempfindung sehr klein wird (Maréchaux u. Schäfer, 1949).

Trotzdem scheint die Tradition der Auffassungen, wonach der Temperatursinn vorwiegend auf Reizänderungen anspricht, (Weber, 1846; Gertz, 1921a,b), sehr groß zu sein, obwohl das Hauptargument gegen einen zeitlichen oder räumlichen Temperaturgradienten als alleinigen unmittelbaren Reiz für die Temperaturempfindung schon früh geliefert wurde (Hensel, 1952; Hensel u. Zotterman, 1951a,b,c; Hensel u. Witt, 1959). Vor allem in der von Fechner (1877) und Stevens (1960a,b, 1962) geprägten so-

genannten Psychophysik ist man bei Schwellenbestimmung und relativer Skalierung dem zeitlichen Temperaturgradienten als Reiz verhaftet geblieben.

Auch Aspekte bezüglich Reizqualität (Erickson u. Poulos, 1973), Lebenswelt, Ausdrucksfähigkeit und Intentionalität des Wahrnehmers wurden bisher noch zu wenig berücksichtigt. So wird vielfach übersehen, daß man beim Komfort-Erleben einen thermischen Reiz mehr subjektbezogen beurteilt und bei der Temperatur-Empfindung objektbezogener identifiziert (Hensel, 1973c). Dies soll im folgenden durch die Begriffe "Reizbeurteilung" und "Reizerkennung" deutlich gemacht werden. Mit dem Ausdruck "angenehm/unangenehm" wird das emotionale Gefühl von Komfort oder Diskomfort mehr einem integralen Zustand des thermoregulativen Systems zugerechnet, während die Temperatur-Empfindung mit dem Ausdruck "warm/kalt" direkter mit den Eigenschaften peripherer Rezeptoren in Verbindung gebracht wird (Hardy, 1970; Cabanac, 1972; Hensel, 1973c).

Für ein besseres Verständnis der Vorgänge sind weitere Befunde über die Beziehungen der neuralen Prozesse wie auch der Sinnesphänomene zum auslösenden Reiz nötig. Für die letztere Beziehung sollen die folgenden Untersuchungen die Wahrnehmungsfähigkeiten des Menschen für eine Reizerkennung und verhaltensorientierte Reizbeurteilung statischer Reize darstellen. Dabei werden die physikalischen Bedingungen und die vom Wahrnehmer ausgehenden Einflüsse auf die Wahrnehmungssituation zur Interpretation mit herangezogen.

II. Wahrnehmungssituation

Für die Definition der Wahrnehmungssituation bei Beobachtung der Sinnesphänomene werden die Einflußgrößen und Bedingungen angesprochen, die die Wahrnehmung eines thermischen Reizes bestimmen. Dies sind im phänophysikalischen Versuch im physikalischen Begriffssystem definierbare sowie vom Wahrnehmer ausgehende Größen.

1. Physikalische Bedingungen

Im Versuch stellen sich die physikalischen Bedingungen durch die physikalisch definierbaren Umgebungsbedingungen der Versuchsperson, den Reiz, die Reizapplikation und die diese Bedingungen hervorrufende Technik dar. Das Hauptaugenmerk muß dabei dem Reiz gelten, der im sinnesphysiologischen Versuch üblicherweise ein Zustand physikalischer Systeme ist, auf das Sinnesorgan einwirkt und ausdrückbare Erlebnisse hervorruft. Diese physikalischen Zustände werden mittels üblicher physikalischer Begriffe quantitativ beschrieben. Über die Wertigkeit des Reizbegriffs für den Wahrnehmer ist damit noch nichts ausgesagt. So quantifiziert der Begriff "Temperatur" den Wärmehalt in einer äquidistanten physikalischen Maßskala, sagt aber nichts Wesentliches über seine Wahrnehmungswertigkeit aus. Trotzdem bleibt sicher als eine Grundbedingung des sinnesphysiologischen Versuchs die Notwendigkeit der Klassifizierung der physikalischen Reizsituation nach Qualität, Intensität (besser: physikalischem Skalenrang), Dauer, Ort und Sequenz.

Die anderen physikalischen Faktoren der Umwelt der Versuchsperson, - bei Untersuchungen zum Temperatursinn sind dies z.B. die Druck-, Schall- oder Lichtverhältnisse -, sollten während des Versuchs möglichst konstant

* "phänophysikalisch" wird hier und im folgenden, nach Hensel (1976), statt "psychophysikalisch" benutzt.

bleiben und den normalen Bedingungen im Lebensbereich des Wahrnehmers entsprechen. Diese Forderungen werden durch eine Klimakammer erfüllt, in der sich die Versuchsperson aufhält (Abb. 1a).

In den Versuchen wurde in einer bestimmten Gesamtreizsituation (definierte Umgebungstemperatur, konstante relative Feuchte, Windgeschwindigkeit und Wandstrahlung) die Hauttemperatur der Handflächen durch wasserdurchströmte Thermoden oder Wasser unterschiedlicher Temperatur verändert (Abb. 1 u. 2). Der Vorteil wasserdurchströmter hohler Metallstimulatoren (Abb. 1b) liegt dabei in der theoretischen Möglichkeit, reine thermische Reize geben zu können, nachdem die Druckempfindung beim Kontakt Haut-Stimulator adaptiert ist. Ferner fehlen die störenden Einflüsse eines strömenden Mediums an der Haut.

Für eine Normierung der Reizsituation wurde die effektive physikalische Reizgröße möglichst klar definiert nach teilnehmender Hautfläche und ihrer Aufteilung in Flächen gleicher Temperatur, effektiver Temperatur an der Hautoberfläche und zeitlicher Verlaufsform des Reizes. Die Grenzen der angebotenen Reiztemperaturen orientierten sich an den Schmerzgrenzen und wurden auf 17°C und 42°C festgelegt.

Die Messung und fortlaufende Registrierung der Temperaturen an den Handflächen (T_{HF}), Handrücken (T_{HR}), Thermoden (T_{TH}) und der integralen Hauttemperatur ($\bar{T}_{\text{H}}$, Meßpunkte nach Ramanathan, in: Mitchell u. Wyndham, 1969) wurde mit Kupfer/Konstantan-Thermoelementen über Gleichstrom-Meßverstärker (Geatherm)¹⁾ auf Mehrfach-Punkt-drucker (Polycomp)¹⁾ vorgenommen. Der Gesamtfehler des Meßsystems liegt für den angegebenen Temperaturbereich bei etwa $0,1\text{--}0,2^{\circ}\text{C}$. Die schematische Darstellung der Versuchsanordnung zeigt Abb. 1.

1) Hersteller: Hartmann & Braun AG., Frankfurt/M.

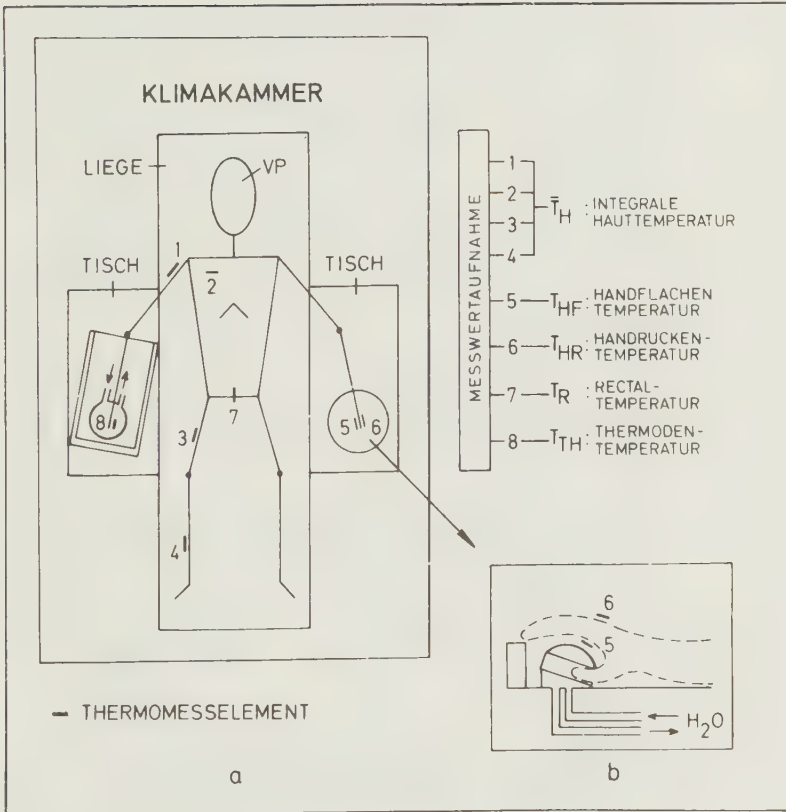


Abb. 1: Schematische Darstellung der Versuchsanordnung.

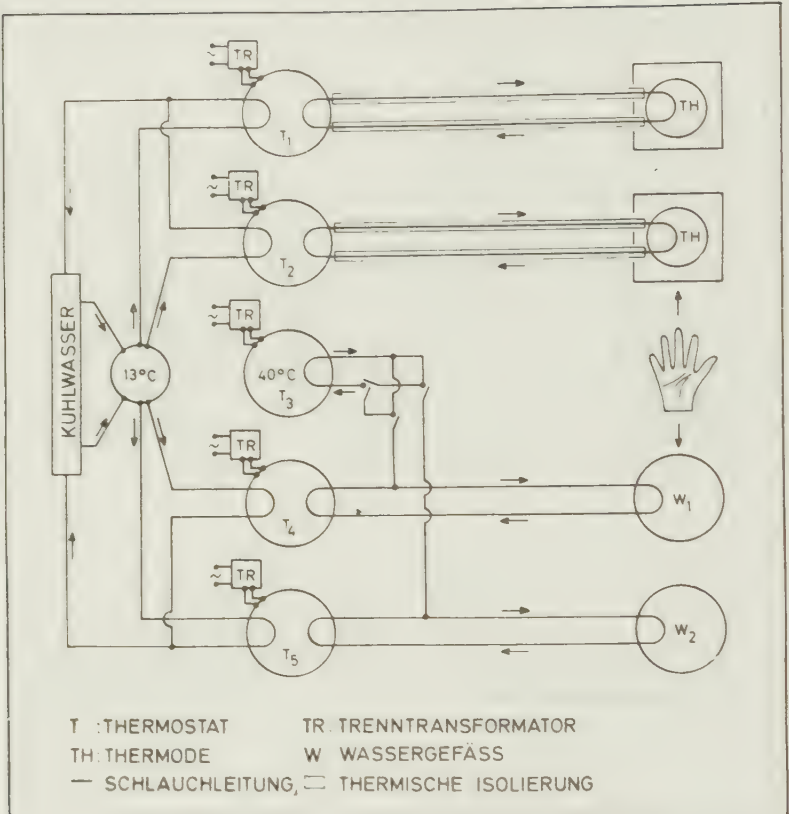


Abb. 2: Schematische Darstellung des Systems zur Reizapplizierung.

Um im Fall der Thermoden-Reize Aufschluß über die Temperaturverteilung an der Handfläche bei Auflage der Hand auf die Thermode (Abb.1b) mit einer konstanten Reizfläche von ca. 75 cm^2 (= mittlere Handflächengröße der Versuchsperson) zu erhalten, wurden durch kombinierte Temperaturmessung mit Thermoelementen und einem Thermographiesystem (Spectrotherm 2000)¹⁾ die Flächen gleicher Temperatur und ihre absolute Temperatur bei verschiedenen angebotenen Thermodentemperaturen bestimmt (Abb.3). Dadurch wurde es möglich, für die Versuche den Meßpunkt für die mittlere Handflächentemperatur festzulegen.

Es ergab sich ein maximaler Temperaturgradient am Handflächenrand und der Innenseite der Finger von ca. 2°C bei einer Auflagezeit von ca. 5 min. Die Kontaktfläche zur Thermode zeigte sich besonders bei höheren Temperaturen als relativ homogen im Temperaturverlauf (Gradient $< 0,5^\circ\text{C}$). Die mittlere Hauttemperatur wich in charakteristischer Weise von der jeweiligen Thermodentemperatur ab (Abb.3a,b). Die sich bei den verschiedenen angebotenen Thermodentemperaturen ergebenden mittleren Handflächentemperaturen sind in Abb.4 dargestellt. Der Abweichungsfaktor hängt dabei neben dem Temperaturgradienten Hand - Thermode und der Durchblutungslage der Handfläche auch vom veränderten Wärmeübergang durch variablen Auflagedruck der Hand, Schweißsekretion und evtl. auftretendes Kondenswasser ab. Durch Messung der Hautoberflächentemperatur mittels aufgeklebter Thermoelemente konnten diese Einflüsse gut korrigiert werden.

Auch bei Reizapplikation durch strömendes Wasser ist die Messung der Hauttemperatur sinnvoll, denn in Temperaturbereichen mit erhaltener Vasomotorik kann zwischen Wasser und Haut noch eine Temperaturdifferenz bis ca. 2°C auftreten (Abb.4).

¹⁾ Hersteller: General Electric, Deutsche Niederlassung Frankfurt/M.

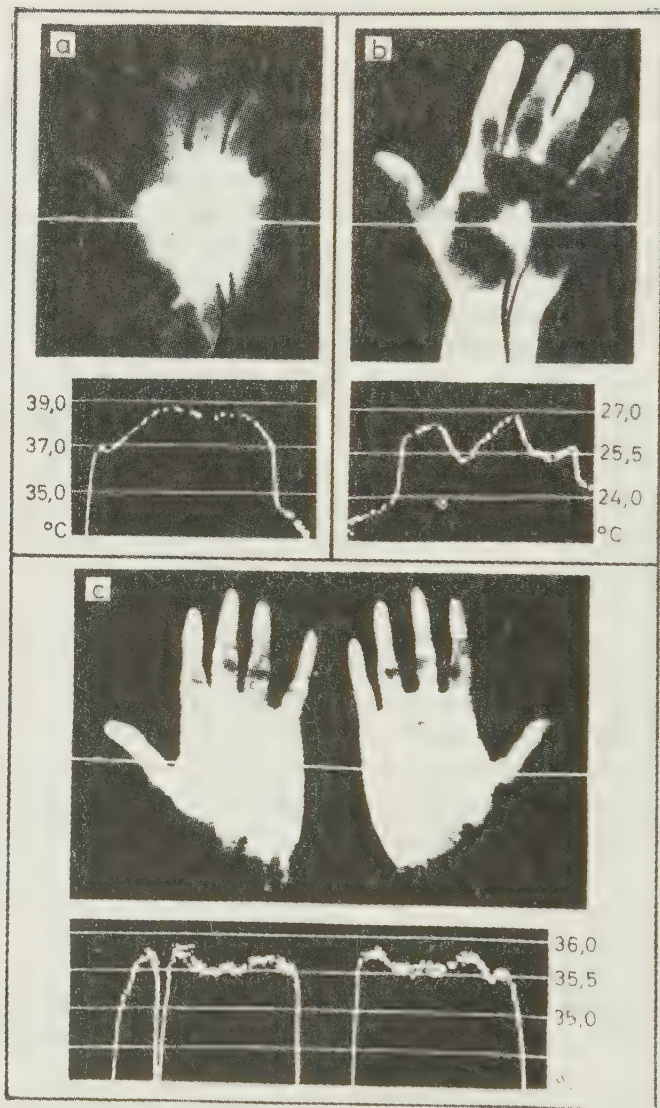


Abb. 3: Thermographische Aufnahmen der Handfläche bei einer Raumtemperatur von 29°C (c) und verschiedenen Thermodentemperaturen (a: 41°C; b: 21°C). Die Kurven zeigen den Temperaturverlauf entlang der quer durch die Handflächen gelegten Linie.

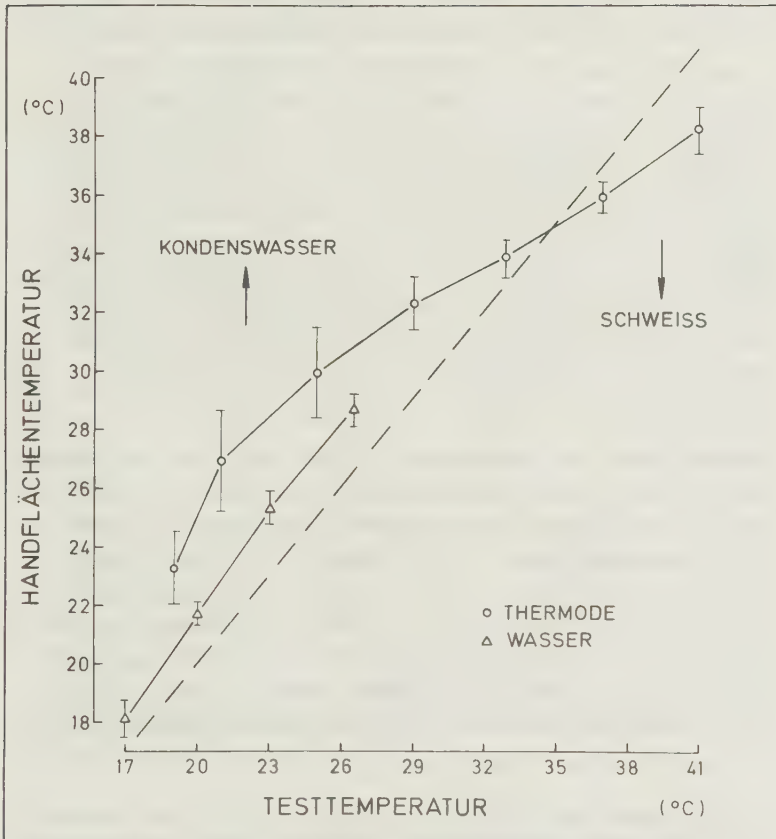


Abb. 4: Handflächentemperatur in Abhängigkeit von der angebotenen Thermodentemperatur (im Bereich 19-41°C, $n = 40$) oder von der Wassertemperatur (im Bereich 17-27°C, $n = 10$) (gestrichelt: $T_{HF} = T_{TH} = T_{H_2O}$). Exponierung 15 min. Die Klammern bezeichnen die Standardabweichung.

An dieser Stelle muß aber auf weiter bestehende Unsicherheiten in bezug auf die Prozesse in der Haut hingewiesen werden. Zwar hat Hensel (1950a,b) definierte Versuche zu den Temperaturverhältnissen in der Haut gemacht, doch die exakte Lage der spezifischen Endorgane, die übertragene Energieform und ihre Übertragungsart sind noch nicht hinreichend geklärt. Im Experiment wird deshalb die mit aufgeklebten Thermoelementen registrierte Temperatur der Hautoberfläche als adäquater thermischer Reiz angenommen. Die Reizfläche wird dabei durch die Größe des Reizgeräts (S.7) und die sich ergebende Temperaturverteilung an der Haut (Abb.3) definiert.

Was die Dauer des statischen Reizes betrifft, so wird sie bei einer bestimmten Anzahl verschiedener Reize von der dem Wahrnehmer zumutbaren Versuchsdauer begrenzt. Deren Bemessung hängt in der beim konstanten, langzeitigen Reiz eher monotonen Reizsituation viel stärker als bei schnell wechselnden, kurzzeitigen Temperaturänderungen von Adaptationsphänomenen und Vigilanzvariationen ab. Fordert man konstante Versuchsbedingungen, so muß nach den Experimenten eine Versuchsdauer von 3-4 Stunden als obere Grenze angesehen werden.

Die in dieser Zeit angebotene Reizfolge sollte Interaktionen aufeinanderfolgender Reize im Urteil des Wahrnehmers, wie sie vor allem durch zentralnervöse Integration möglich sind, weitgehend ausschließen (Ward u. Lockhead, 1971). Will man dies aber bei längerfristigen Reizen durch eine randomisierte Reizfolge erfüllen, so ist die dafür notwendige hohe Anzahl der Reizwechsel in der oben angegebenen Versuchsdauer nicht realisierbar. Vielmehr scheint für Versuche mit statischen Reizen ein Vergleich zwischen in der Temperatur auf- und absteigenden Reizserien besser zu sein. In diesem Fall sollte aber jeder einzelne Reiz, wird er als ein vom

Ausgangsniveau unabhängiger Zustand definiert, so lange appliziert bleiben, bis die Nachwirkungen eines vorhergehenden Reizes abgeklungen sind.

Um diesen Zeitpunkt abschätzen zu können, wurden die Versuchspersonen in Vorversuchen aufgefordert, zwei gleichzeitig an linker und rechter Handfläche applizierte konstante Reize von jeweils 30°C nach verschiedenen Ausgangsreizen von 20 und 40°C einzustufen. Hierbei wurde immer eine vermeintliche Temperaturdifferenz zwischen den gleichen Reizen bis zu 10°C angegeben. Erst nach individuell verschiedenen Zeitspannen, im Mittel nach 17-18 min, glaubten die Versuchspersonen keinen Unterschied mehr zu verspüren (Abb.5). Hier war scheinbar der Einfluß des vorhergehenden Reizes abgeklungen. Die Dauer des Ausgangsreizes (T_{AR} , Abb.5) hatte dabei keinen signifikanten Einfluß auf die Abklingzeiten. Diese sind aber sicher abhängig von der Abso-luthöhe der Ausgangsreize und den gewählten Tempera-tursprüngen. Generell sollte jedoch in verschieden abgestuften Reizserien der jeweilige Reiz mindestens 10-15 min, möglichst aber länger appliziert bleiben, wenn dies die gewünschte Reizanzahl bei einer bestimmten Versuchsdauer zuläßt.

Die physikalischen Bedingungen der Wahrnehmungssitua-tion lassen sich wie folgt zusammenfassen: Die Hand-flächentemperatur der Versuchspersonen wurde zwischen $22,5$ und 40°C durch Auflegen der Hände auf Thermoden (Auflagefläche ca. 75 cm^2), zwischen 29 und 17°C durch Eintauchen der Hände in Wasser definierter Temperatur variiert. Dabei wurde die mittlere Temperatur der Haut-oberfläche als der adäquate Reiz angenommen. Für die Versuche zur Reizerkennung (Kap. III,1) wurde die Hand-flächentemperatur in 8-10 überschwelligen auf- und ab-steigenden Schritten ($\Delta T \geq 2^{\circ}\text{C}$) von jeweils mindestens

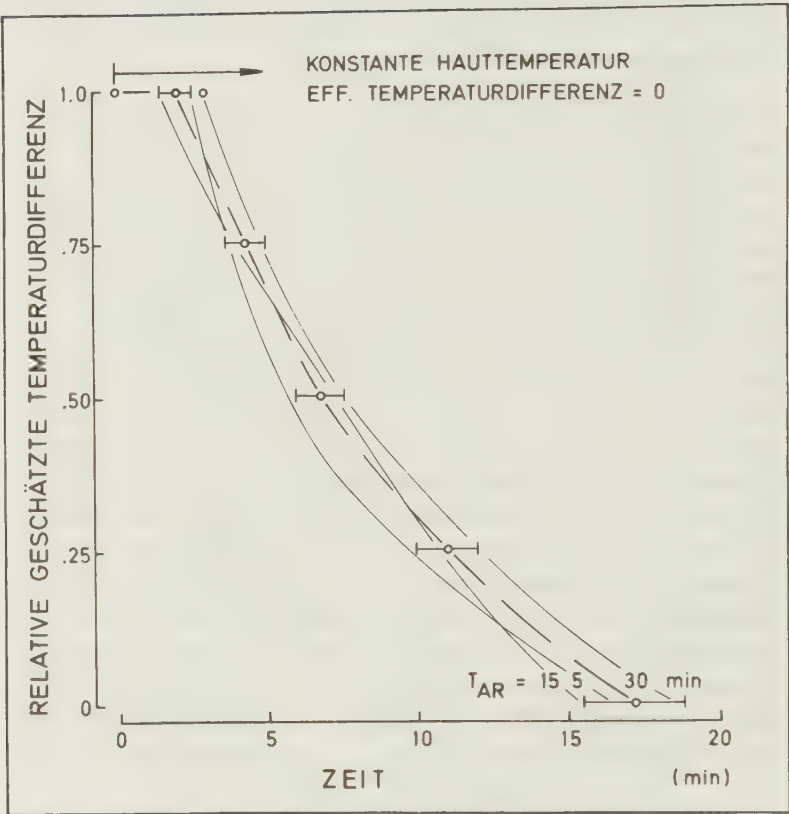


Abb. 5: Darstellung des relativen zeitlichen Verlaufs des geschätzten Reizunterschiedes für den gleichen, konstanten Reiz (30°C) nach verschiedenen Ausgangsreizen ($20, 40^{\circ}\text{C}$). Mittelwerte von 8 Versuchspersonen. Die Klammern bezeichnen die Standardabweichung des Mittelwertes.

15 min bei konstanten Körpertemperaturen (T_R , $\bar{T}_H$) verändert. In den Versuchen zur Reizbeurteilung (Kap. III, 2) blieben die verschiedenen Handflächentemperaturen bei variiertem integraler Hauttemperatur ($\bar{T}_H$) bis zu 2 Stunden konstant. Bei den Umgebungsbedingungen für die Versuchspersonen wurde auf gleichbleibende relative Feuchte und Windgeschwindigkeit geachtet.

2. Wahrnehmerbezogene Bedingungen

Im sinnesphysiologischen Versuch werden die mit physikalischen Begriffen beschriebenen Größen, wie der Reiz, vom Wahrnehmer bewertet. Die Beziehung seines Ausdrucks zum Reiz hängt dabei von der Lebenswelt, der Einstellung zum Reiz, der Integrationsfähigkeit und den Ausdrucksmöglichkeiten des Wahrnehmers ab.

Sowohl die Instruktion im Versuch wie auch die Interpretation des Versuchs muß dies berücksichtigen. Denn im Gegensatz zur klassischen Fehlertheorie, in der "Fehler" als kumulative Abweichungen von hypothetischen und wahren Werten als Ergebnis einer großen Zahl von kleinen zufälligen Störungen betrachtet werden, sind die individuellen Verteilungen dieser Faktoren für das Verständnis und die Interpretation des Zusammenhangs zwischen Reiz und Reizantwort sicherlich substantiell. Deshalb sollte neben die Beschreibung und Klassifizierung des Versuchspersonen-Kollektivs als statistische Grundlage auch die Beobachtung der einzelnen Versuchsperson innerhalb und außerhalb des Experiments durch begleitende Interviews treten. In diesem Sinne werden Mittelwertdarstellungen eher als Orientierungs- und Klassifizierungshilfe denn als valide für jede einzelne Versuchsperson interpretiert.

Die Mitglieder der 20 Personen umfassenden Versuchspersonen-Gruppe (10 weiblich, 10 männlich) waren gesunde

Studenten im Alter von 20-30 Jahren, die im Mittel 85 % ihrer Zeit im Klimaraum Marburg verbrachten. Das Jahresmittel für die Jahre 1974/75 betrug in diesem Raum für die Temperatur $12,85/14,78^{\circ}\text{C}$ und für die relative Feuchte $65,42/56,34$ %. Das entspricht für beide Jahre einer Feuchttemperatur im Jahresmittel von etwa $10^{\circ}\text{C}_\text{F}$.

Wie Experimente in der Klimakammer zeigten, liegt die resultierende Handflächentemperatur mit Bekleidung unter diesen klimatischen Bedingungen um 33°C , bei einer Umgebungstemperatur von 29°C (= "neutrale" Raumtemperatur unbekleidet) um $36,0^{\circ}\text{C}$ (Abb.6). Als weitere Komponenten eines als neutral eingestuften thermischen Status bei konstanter Raumtemperatur von 29°C und einer relativen Feuchte von 40-45 % ergaben sich im Mittel: Integrale Hauttemperatur $\bar{T}_\text{H} = 34,04^{\circ}\text{C} \pm 0,57$ ($n = 121$), Rektaltemperatur $T_\text{R} = 36,96^{\circ}\text{C} \pm 0,27$ ($n = 111$) und Handrückentemperatur $T_\text{HR} = 34,6^{\circ}\text{C} \pm 0,7$ ($n = 107$).

Eine Korrelation dieser Werte mit der variierenden Umgebungstemperatur in den Zeiträumen der Experimente während der Jahre 1974 und 1975 konnte nicht gefunden werden. Sicher ein Resultat der saisonbedingten Kleidung des Menschen. Ein Einfluß des Tagesganges (Hildebrandt, 1967; Cabanac et al., 1976) wurde durch gleiche Versuchszeiten am biologischen Vormittag auszuschalten versucht. Dies gilt für alle der Arbeit zugrunde liegenden Experimente.

Neben diesen Befunden zeigte die interindividuelle Struktur der Hauttemperaturen Zusammenhänge zu den Lebensgewohnheiten und Selbsteinschätzungen der einzelnen Versuchspersonen. Für die Beurteilung der Versuchsergebnisse der einzelnen Versuchspersonen lassen sich hierbei verschiedene Typen klassifizieren, die nicht nur in der Höhe ihrer Hauttemperaturen Unterschiede aufwiesen, sondern auch in ihrem Verhalten und ihrer Temperatursensibilität.

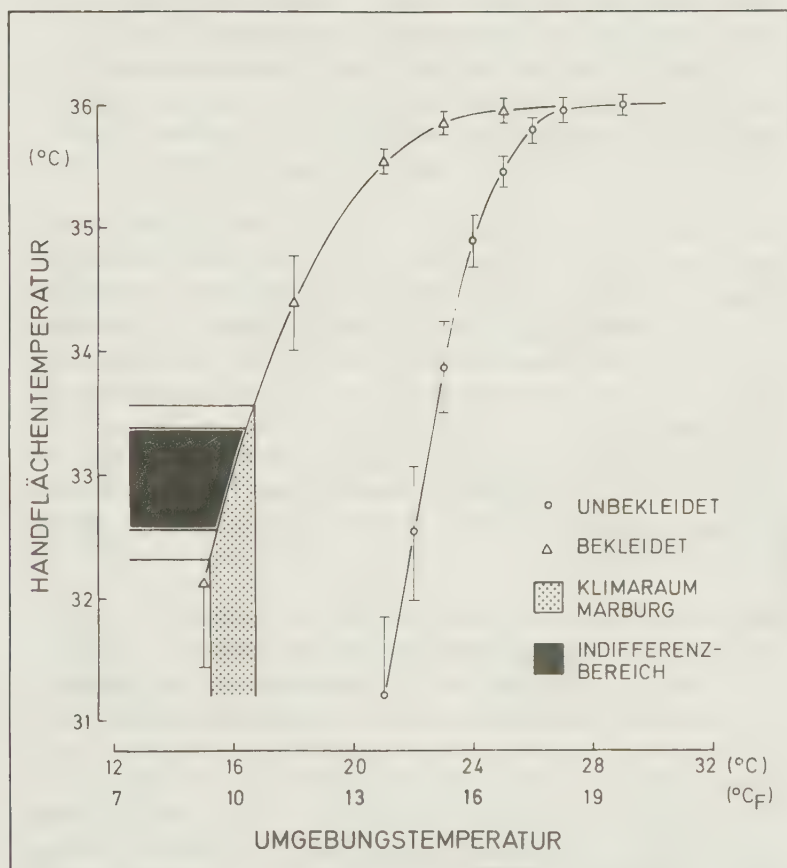


Abb. 6: Handflächentemperatur T_{HF} (Versuchsperson bekleidet ($n = 10$), unbekleidet ($n = 82$)), bei verschiedenen Umgebungstemperaturen (mittlere relative Feuchte: 45 %) und den zugehörigen Feuchttemperaturen ($^{\circ}C_F$). Die Klammern bezeichnen die Standardabweichung.

charakteristische Unterschiede zeigten. So suchten Versuchspersonen mit höheren Körpertemperaturen als der Durchschnitt relativ wärmere Umgebungstemperaturen auf und zeigten sich kältesensibler als normal. Versuchspersonen mit tieferen Hauttemperaturen als der Durchschnitt verhielten sich genau umgekehrt.

Trotzdem erwies sich die Versuchspersonen-Gruppe in den Ergebnissen der Experimente als hinreichend homogen in ihren lebensweltlichen Bedingungen und ihrem Erfahrungsstand zum thermischen Reiz. Eine Erhöhung der Homogenität durch eine längerfristige Gewöhnung als 30 min an gleiche Umgebungsbedingungen oder ein versuchsbezogenes Training schien nicht sinnvoll, da die Versuchsperson ihre Antworten im Wahrnehmungsexperiment auch aus ihrem persönlichen Lebensbereich heraus geben sollte. Das Experiment bleibt dadurch in Beziehung zur Lebensrealität des Wahrnehmers.

Aber nicht nur die Rückbeziehung zur Lebenswelt bestimmt die Wertigkeit des Reizes für den Wahrnehmer, sondern auch seine im Versuch akut auftretenden Einstellungen zum Reiz und seine Fähigkeiten zu differenzieren und zu integrieren. So zeigten die Experimente, daß die Versuchspersonen fein zwischen Temperaturen des Reizobjekts (Thermode), der Hautoberfläche, des Handinneren und verschiedener Hautregionen unterscheiden. Dieser Differenzierungsfähigkeit muß die Instruktion durch ein klar definiertes "Reizobjekt" (im Versuch wird die Handfläche als Reizobjekt definiert) Rechnung tragen. Aber auch dann kann sich noch eine Diskrepanz zwischen dem Reizverständnis des Wahrnehmers und dem im physikalischen System gemessenen Reiz zeigen. So kann man bei genauer Beobachtung trotz konstanter physikalischer Reizbedingungen nicht von zeitlich konstanten Empfindungsgrößen sprechen. Diese haben vielmehr oszillierenden Charakter mit sehr unterschiedlichen Zeitgängen. Eine Interpretation dieser Emp-

findungsvariation fällt schwer, da zum einen die Rolle von evtl. Durchblutungsschwankungen an der Handfläche nicht genügend geklärt ist und zum andern der zeitliche Verlauf der Empfindung nach Hensel (1950a,b, 1952) von der intracutanen Wärmebewegung und der Reizfläche abhängt. Wenn auch im allgemeinen die Empfindung bei kleinen Reizflächen relativ schnell abklingt (Kenshalo u. Scott, 1966), so herrscht bei der ganzen Hand als Reizfläche offenbar eine geringfügige Variation eines festen Wertes vor. Jedenfalls ergaben sich auch über eine Reizdauer von 2 Std. keine signifikanten Änderungstrends ($p > 0,25$) für die Reizantwort (s. auch S.24).

Parallel zur jeweiligen Intention des Wahrnehmers müssen wir auch seine zeitliche und räumliche Integrationsfähigkeit beachten, durch die vorzeitige Reize (s. hierzu S.10/11 u. Abb.5) und Temperaturen anderer Hautregionen Einfluß auf die Reizantwort haben. Hier muß an die These von Morton (1969) erinnert werden, daß für eine verfügbare Antwort neben dem direkten Reiz auch Informationen akzeptiert werden, die sich aus dem Zusammenhang oder dem Gedächtnis ergeben.

Zu der Frage, inwieweit Temperaturunterschiede zwischen Handfläche und Handrücken Einfluß auf die Aussage über einen konstanten Handflächenreiz haben, ergab sich in den Versuchen, daß die in neutraler Umgebung herrschende Temperaturdifferenz ($T_{HF} - T_{HR}$) von $+1,4^{\circ}\text{C}$ (s. S.14) zwischen $+5$ und -2°C variiert werden konnte, ohne die Reizantwort erkennbar zu beeinflussen. Die Temperaturunterschiede zwischen beiden Handflächen (ΔT_{HF}) hatten bis zu einem Wert von etwa 10°C keinen Einfluß auf die Reizantwort (Reizantwort in Form einer Temperaturschätzung, s. S.20/21) über konstante Handflächentemperaturen an einer Hand. Evtl. Änderungen blieben im wesentlichen unterhalb 3°C und waren unabhängig vom Vorzeichen der Temperaturdifferenz $T_{HF}/\text{konstant} - T_{HF}/\text{variiert}$ (Abb.7).

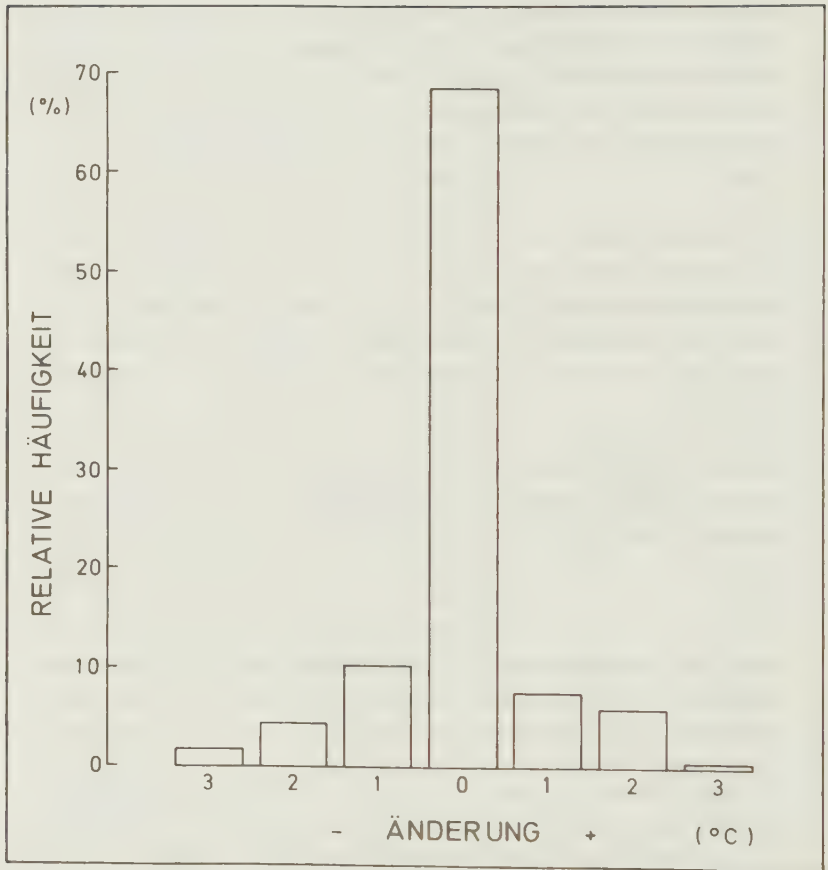


Abb. 7: Relative Häufigkeit der absoluten Änderung einer Temperaturschätzung über konstante Handflächentemperaturen zwischen 25 und 38°C bei Variation der anderen Handflächentemperatur bis zu einer Temperaturdifferenz zwischen beiden Händen ($T_{HF/konst.} - T_{HF/var.}$) von 10°C (n = 208).

Bleibt der Kontrast zwischen appliziertem Reiz und den anderen Hautregionen im beschriebenen Rahmen und wird bei der Instruktion die Intentionalität des Wahrnehmers beachtet, so können das Reizverständnis der Physik und das des Wahrnehmers in Einklang gebracht werden.

Auch wenn sichergestellt ist, daß sich der Wahrnehmer bei seiner Aussage über einen mit physikalischen Begriffen definierten Reiz tatsächlich auf diesen bezieht, so muß man trotzdem noch den Aussagegehalt prüfen. Dies ist umso schwieriger, je mehr Erlebnisse mit einem einheitlichen verbalen Ausdruck (nur dieser wird in den Versuchen als Reizantwort benutzt) beschrieben werden sollen. Dies gilt sowohl für die Temperaturempfindung wie auch das Komfort-Erleben. Gerade für die Normierung der üblicherweise hierbei benutzten Skalen ist dies von Bedeutung. So ist ein gleicher Skalenrang (z.B. +2 in Abb.15) oder sein Vielfaches nicht für alle Versuchspersonen gleichwertig. In diesem Sinne sollten Mittelwertdarstellungen eher als Klassifizierungshilfe und nicht so sehr als statistisch valide interpretiert werden (s. auch S. 13). Ganz abgesehen davon, daß Skalierungen in Zahlenwerten auch eine in sich homogene Qualitätsstruktur voraussetzen, die nicht immer gewährleistet ist.

Bei der Temperaturempfindung beschreiben wir zwar im Gegensatz zur eindimensionalen physikalischen Temperaturskala unsere Erlebnisse in zwei Qualitätskomponenten nach warm oder kalt, über eine evtl. differenziertere Qualitätsstruktur ist damit noch nichts ausgesagt.

Die meisten gegenwärtigen sinnesphysiologischen Experimente zur Thermorezeption arbeiten nur mit dieser Aussageform und skalieren innerhalb der Komponenten nach Intensität (Stevens, 1960a; Ekman u. Sjöberg, 1965). Dieser Arbeitsansatz allein aber kann weitergehende Wahrnehmungs- und Ausdrucksfähigkeiten nicht aufdecken, denn

der Skalierung in Proportionalität fehlt die Frage nach dem die Antwort bestimmenden Temperatur- und Qualitätsbewußtsein.

In den Versuchen wurde deshalb versucht, neben der unmittelbaren Empfindungsaussage nach kalt/warm über eine Schätzung der Reiztemperatur Anhaltspunkte über dieses mit einer Temperaturerfahrung gekoppelte Temperaturbewußtsein zu bekommen. Denn im Vergleich zu den oben angesprochenen Methoden birgt diese Temperaturschätzung Aussagemöglichkeiten über die Temperaturerfahrung des Wahrnehmers und ist im Gegensatz zur Aussage "kalt/warm" nicht qualitätsbezogen. Dieser Punkt gewinnt besonders dann an Bedeutung, wenn man davon ausgeht, daß der Temperatursinn nicht einheitlich in den Qualitäten "kalt" oder "warm" ist.

Methodischer Ausgangspunkt für die praktizierte freie Schätzung war die in der Psychologie bei Reizänderungen schon bekannte Absolutskalierung. Dieser Begriff wird oft gebraucht, um gewisse "eingebaute" Tendenzen oder geistige Bezüge der Versuchsperson zu zeigen, aufgrund deren einzelne Reize ohne einen Vergleichsstandard stabil einem Skalenwert zugeordnet werden. Eher als einen physikalischen Standard bei jedem Versuch anzubieten, wurde angenommen, daß das Subjekt innere Kriterien zur Identifikation der Wahrnehmungsdimension heranziehen könne.

Diese Situation ist eng mit dem Begriff der Assoziation verknüpft, bei dem Ideen, Vorstellungen oder Gedanken in der Weise miteinander verbunden sind, daß das Erscheinen einer Vorstellung im Bewußtsein eine andere, die mit ihr assoziiert ist, nach sich zieht, d.h. auch ins Bewußtsein bringt.

Diese Methode der Temperaturschätzung hängt sicher vom Erfahrungsstand der Versuchsperson über physikalische

Temperaturbegriffe, ihrem Übungsstand, diese auf Reize zu beziehen und ihren physiologischen Kenntnissen, z.B. über Schmerzgrenzen, ab.

Auf eine Normierung durch Angabe eines Orientierungsbereichs oder Feedback wurde aber im Interesse einer unbeeinflussten Antwort verzichtet. Die gewollt naive, unerfahrene Versuchsperson sollte die Antworten im Wahrnehmungsexperiment aus ihrem persönlichen Lebens- und Erfahrungsbereich geben. Die Beziehung zu den Versuchspersonen innewohnenden Wahrnehmungs- und Ausdrucksfähigkeiten ist hier sicher am ungetrübtesten.

Die Erfahrungen im Versuch mit der beschriebenen Methode waren sehr gut. Zum einen zeigte sich der Erfahrungsstand entgegen den Erwartungen als recht homogen, zum anderen erwies sich die Schätzung als hinreichend zeitlich stabil und reproduzierbar. Für den relativen Verlauf der Schätzungen verschiedener Versuche ergaben sich durchweg Korrelationskoeffizienten über 0,9 (Abb.8). Ein gewisser Trainings- oder Lerneffekt könnte nur insoweit festgestellt werden, als bei mehreren Versuchen die Korrelation zwischen Aussagen an direkt aufeinanderfolgenden Versuchstagen wuchs. Der Korrelationskoeffizient fiel aber auch für eine Pause von einem halben Jahr nicht unter 0,93 (Abb.8). Hier muß sicher gefolgert werden, daß schon von vornherein bei den Versuchspersonen ein hoher "Präzisionsstand" bzw. eine große "Eigenständigkeit" der Aussage vorliegt.

Die wahrnehmerbezogenen Bedingungen der Wahrnehmungssituation lassen sich abschließend wie folgt zusammenfassen: In den Versuchen wurden 20 Versuchspersonen aus dem gleichen Klimaraum (Feuchttemperatur: ca. 10°C_F) mit ähnlichen lebensweltlichen Erfahrungen untersucht. Auf ein homogenisierendes versuchsbezogenes Training

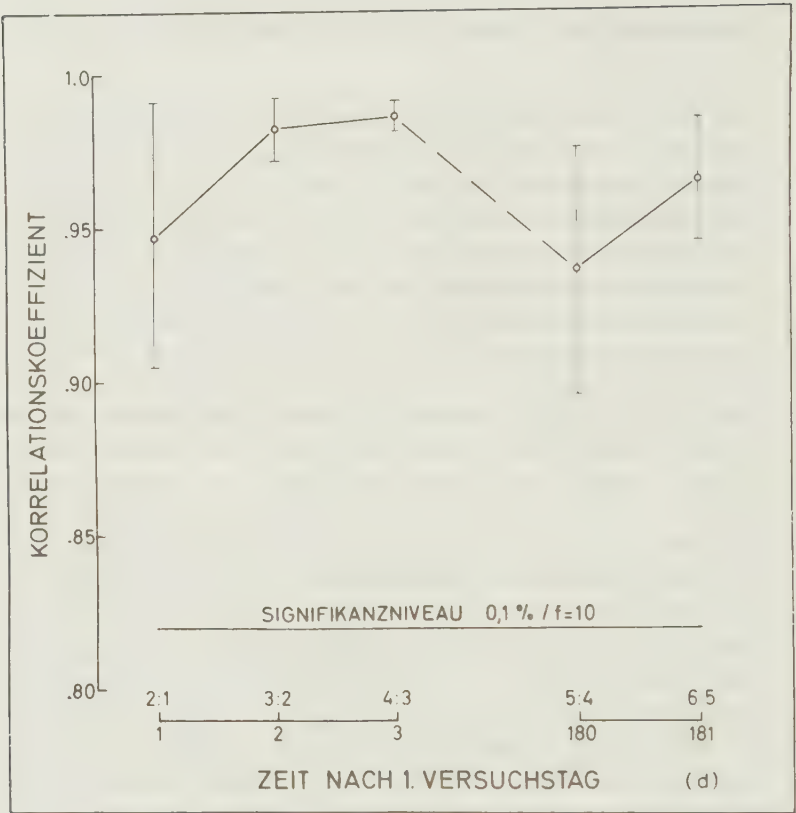


Abb. 8: Korrelationskoeffizient zwischen den Reizantworten an vier aufeinanderfolgenden Tagen und bei einer Pause von einem halben Jahr. Mittelwerte für 10 Versuchspersonen. Die Klammern bezeichnen die Standardabweichung.

wurde verzichtet, um die Beziehung des Experiments zur Lebenswelt zu wahren. Besonderer Wert wurde darauf gelegt, daß der Wahrnehmer seine Aussage auf die Handfläche als Reizobjekt (S.16) bezog. Der Einfluß der Temperatur des Handrückens oder der anderen Hand auf diese Aussage sollte bei den gewählten Reizbedingungen gering bleiben (S.17 u. Abb.7). Zur besseren Ausnutzung der Ausdrucksmöglichkeiten der Versuchsperson wurde bei der Temperaturempfindung (Kap. III,1) neben der bekannten Aussage nach "kalt/warm" eine Schätzung der Reiztemperatur in Absolutskalierung ohne vorgegebenen Orientierungsbereich eingeführt (S.20/21). Beim Komfort-Erleben (Kap. III,2) wurde nach "angenehm/unangenehm" auf den Reiz geantwortet.

III. Wahrnehmungsfähigkeiten

Definiert man Wahrnehmung als Resultat verarbeiteter Information unter Bedingungen, die in jedem Fall von der eigenen Aktivität des Subjekts herrühren, dann ist neben einer Rezeptor-Reizung, weiterer Reiz-Abbildung und Verarbeitung auch eine verhaltensorientierte Wahrnehmungsfähigkeit angesprochen. Gerade für die langfristigen Reizverläufe im Klima wird dies bei der Perception statischer thermischer Reize bedeutsam.

Ergänzend zu den Auffassungen (Hensel, 1973c), nach denen diese verhaltensorientierte Komponente bzw. das Komfort-Erleben mit dem Ausdruck "angenehm/unangenehm" mehr einem integralen Zustand des thermoregulativen Systems zugerechnet wird, zeigte sich in den Experimenten eine hohe Korrelation dieses Ausdrucks über einen konstanten Handreiz zur integralen Hauttemperatur $\bar{T}_H$ (Abb.9, a/u: $\bar{T}_H$, $\bar{r} > 0,92$). Für die Aussagen der Temperaturempfindung sind die Korrelationskoeffizienten unterhalb des Signifikanzniveaus 1 % (Abb.9, gesch: $\bar{T}_H$, k/w: $\bar{T}_H$). Diesen Sachverhalt unterstreichen auch die sehr kleinen Regressionskoeffizienten ($\leq \pm 0,05$) für diese Reizaussagen über 2 Std. bei variierter integraler Hauttemperatur (s. auch Abb.20).

Die weitgehende Trennung zwischen dieser Reizerkennung und der Reizbeurteilung wird durch eine geringe Korrelation zwischen beiden Ausdrucksmöglichkeiten unterstrichen (Abb.9, a/u: gesch, $\bar{r} < 0,49$).-Der Begriff "Reizerkennung" bezeichnet hier und im folgenden die Wahrnehmungsfähigkeiten im Bereich der Temperaturempfindung, "Reizbeurteilung" diejenigen im Bereich des Komfort-Erlebens.-Nach dem oben Festgestellten tritt bei der Beurteilung neben den Handreiz als Antworteinfluß die integrale Hauttemperatur als weitere Variable.

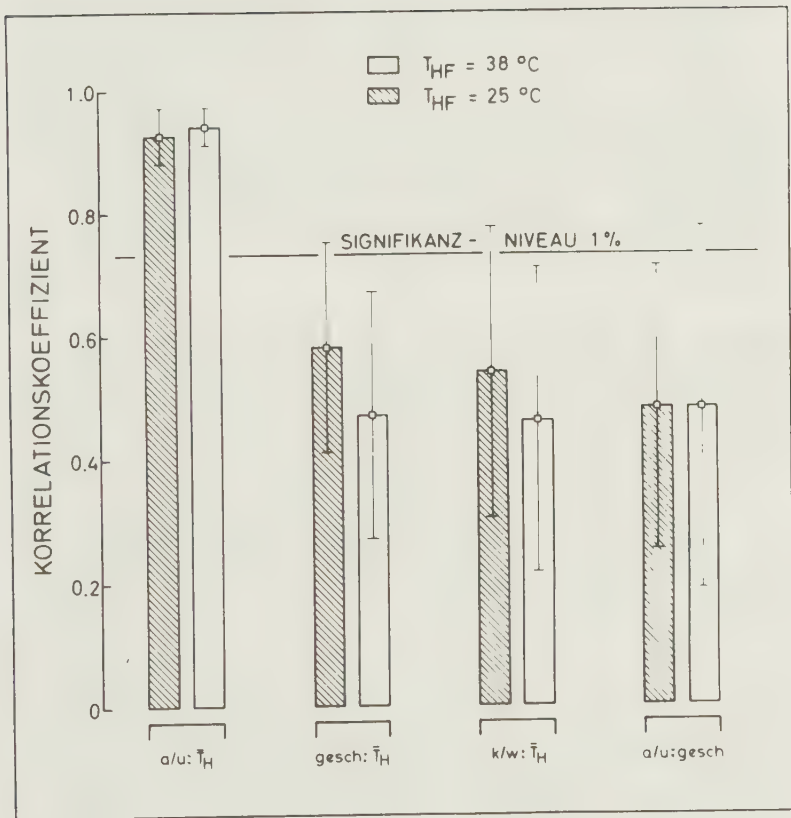


Abb. 9: Korrelationskoeffizienten zwischen der integralen Hauttemperatur $\bar{T}_H$ und den Aussagen "angenehm-unangenehm" (a/u), Temperaturschätzung (gesch.), "kalt-warm" (k/w) und zwischen den Aussagen a/u und gesch. für zwei Handflächentemperaturen T_{HF} . Mittelwerte von 12 Versuchspersonen. Die Klammern bezeichnen die Standardabweichung.

Für den Versuchsablauf ergeben sich damit entsprechend den zwei Variablen zwei Methoden: Zum einen die Untersuchung mit verschiedenen statischen Reizen an der Hand und konstanter integraler Hauttemperatur und zum anderen mit variabler integraler Hauttemperatur und konstanter Handtemperatur. Die Variation beider Größen in einem Experiment ist dabei mit den zu fordernden statischen Einzelschritten aus Zeitgründen (s. S.10) nicht gut möglich.

Für die Reizerkennung mit ihrem direkteren Bezug zum Handreiz (Abb.9) heißt das: Die Reizantworten auf verschiedene Reize an der Handfläche sollten im selben Versuch gewonnen werden. Für die Reizbeurteilung mit ihrem Bezug zur integralen Hauttemperatur (Abb.9) sollten die Reizantworten bei verschiedenen integralen Hauttemperaturen im selben Versuch gewonnen werden. Die Variation des Handreizes kann hierbei dann an verschiedenen Tagen erfolgen.

Die sich mit den in Kap. II beschriebenen Bedingungen in diesen Experimenten zur Reizerkennung und Reizbeurteilung ergebenden Aussagen zum Reiz sind in den folgenden Abschnitten dargestellt. Diese Reizaussagen werden zum einen auf ihre relative Struktur, zum anderen aber auch auf die Bedeutung ihrer Absolutgröße hin untersucht. Hieraus werden die Begriffe der "Empfindlichkeit" für Abweichungen von einem Reizstatus und des "Bewußtseins" zu dem jeweiligen Reizstatus entwickelt.

1. Reizerkennung

Bei der Reizerkennung oder auch Temperaturempfindung wird der Reiz üblicherweise nach kalt oder warm eingestuft, mit einer Indifferenz-Zone zwischen beiden Komponenten. Derartige zweidimensionale Aussagenskalen

haben ihren Bezugspunkt im Trennungsbereich. Die unmittelbare Temperaturempfindung bezieht sich also mit dem Ausdruck "kalt/warm" auf einen relativen Bezugspunkt. Verschiebungen der Einstufungen finden in bezug auf diesen statt und sagen noch nichts über die Beziehung der Versuchsperson zur absoluten Größe des Wärmeinhalts oder der Temperatur aus. Hierzu ist eine andere eindimensionale Ausdrucksskala in Absolutskalierung nötig, wie sie in Form der Temperaturschätzung eingeführt wurde (Kap. II,2, S.20).

Um beide Ausdrucksmöglichkeiten vergleichen und gemeinsam interpretieren zu können, sollten die Versuchspersonen im Experiment zu jedem statischen Reiz eine Einstufung nach kalt oder warm geben und seine Temperatur in °C schätzen (s. auch S.20/21). Beim Ausdruck nach kalt/warm wurden den Reizen nach kälter oder wärmer aufsteigende Zahlen mit einem negativen (kalt) oder positiven (warm) Vorzeichen zugeordnet; bei der Schätzung in einer aufsteigenden Skala direkt die vermeintlichen Temperaturen genannt (jeweils offene Skalierung).

Dabei zeigte es sich, daß es den Versuchspersonen sowohl für die Temperaturschätzung als auch die Aussage nach kalt/warm möglich war, auch bei den angebotenen statischen Reizen jedem eine Antwort zuzuordnen. Ein vollständiger Verlust der Reizerkennungsfähigkeit tritt bei den gewählten Versuchsbedingungen in keinem Temperaturbereich auf. Das hängt sicher zum einen von der Integrationsfähigkeit des Wahrnehmers ab (s. S.17/19); aber auch davon, daß nicht so schnell wie bisher angenommen, eine vollständige Adaptation der Temperaturempfindung eintritt (s. S.17). Als einziger Bereich mit einer erhöhten Unsicherheit der Reizeinstufung könnte vielleicht der um 33°C (Indifferenz-Bereich) angesehen werden. Hier bezogen sich die Versuchspersonen bei der Temperaturschätzung nach eigener Aussage vornehmlich auf die Über-

legung, daß auch bei der Empfindung "weder warm noch kalt" eine bestimmte Temperatur vorliegen müsse.

Abb.10 zeigt den an 197 Versuchstagen mit der in Kap.II, 2 definierten Versuchspersonen-Gruppe ermittelten mittleren Verlauf der Temperaturschätzung in Abhängigkeit von der angebotenen Handflächentemperatur T_{HF} als Reiz. Da nicht wie üblich der Versuchsperson ein Antwortbereich vorgegeben wurde (s. S. 20/21), sind die Streuungen gerade im unteren und oberen Temperaturbereich von dem jeweils individuellen Antwortbereich abhängig. Aus diesem Grund wurden die Antworten jeder Versuchsperson nach Ermittlung des mittleren Antwortbereichs des Versuchspersonen-Kollektivs mit dem Faktor

$$k_1 = \frac{\text{individueller Antwortbereich}}{\text{mittlerer Antwortbereich}} \quad (1)$$

normiert. Hierbei ergeben sich zwar kleinere Streuungen (Abb.10, normiert), aber keine Änderungen der Absolutwerte. Aber auch die unnormierten Werte der freien Temperaturschätzung zeigen erstaunlich kleine Streuungen. Die Standardabweichung des Mittelwerts hierfür ist nie größer als $\pm 1,4^{\circ}\text{C}$. Dies zeigt mit der guten Reproduzierbarkeit der Schätzwerte (s. S. 21) die gute Anwendbarkeit der Methode.

Interessant ist die Abhängigkeit der Standardabweichung des Mittelwerts von der Reiztemperatur: ihren kleinsten Wert erreicht sie um 37°C . Unter- und oberhalb von 37°C steigt sie kontinuierlich an. Die Homogenität der Versuchspersonen-Gruppe in der Aussage zum Reiz ist also bei 37°C Reiztemperatur am größten.

Bei einer Handflächentemperatur von 37°C werden aber nicht nur die Unterschiede zwischen den Aussagen der einzelnen Versuchspersonen minimal, sondern auch die Schätzfehler in der Einzelaussage, wie der Schnittpunkt mit der

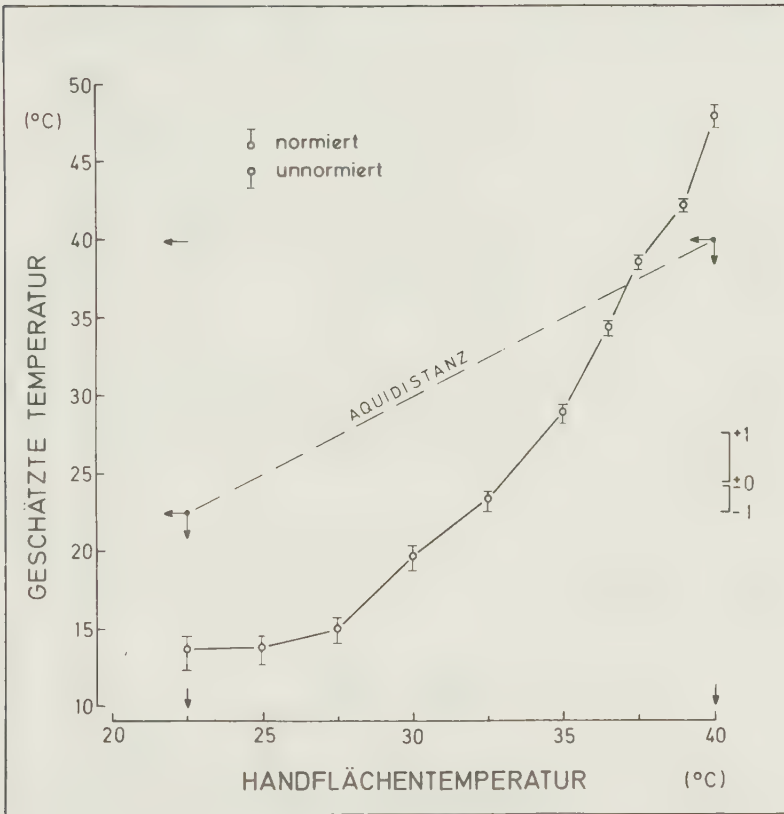


Abb. 10: Geschätzte statische Temperaturen in Abhängigkeit von konstanten angebotenen Handflächentemperaturen. Die "Äquidistanz"-Linie (---) zeigt die Identität zwischen geschätzten und physikalischen Temperaturen in °C an. Mittelwerte von 20 Versuchspersonen in 197 Versuchen. Die Klammern bezeichnen die Standardabweichung des Mittelwertes der normierten und unnormierten Daten.

"Äquidistanz"-Linie zeigt. Diese Linie entspricht der Identität von geschätzten und physikalischen Temperaturen (Abb.10). Bis auf zwei Versuchspersonen, die generell höhere Temperaturen im Leben bevorzugten (s. S. 14/16), und bei denen der Schnittpunkt geringfügig auf 38°C zu verschoben war, zeigte sich die Lage des minimalen Fehlers (Schnittpunkt) interindividuell sehr stabil. Immer waren die Schätzwerte unterhalb dieses Schnittpunktes kleiner, oberhalb immer größer als die effektiven Handflächentemperaturen.

Diese Genauigkeitsstruktur der Einzelaussage mit hoher Genauigkeit um 37°C Reiztemperatur, negativem Fehler unterhalb und positivem oberhalb von 37°C wird durch den in Abb.11 dargestellten Fehlerfaktor $|i|$ veranschaulicht.

Dieser Abweichungsfaktor ist der auf den angebotenen Reizbereich von $17,5^{\circ}\text{C}$ bezogene, mit k_1 (1) normierte absolute Fehler:

$$|i| = \frac{\text{absoluter Fehler}}{\text{Reizbereich} \cdot k_1} \quad (2)$$

Die Struktur dieses Faktors war für die einzelne Versuchsperson an verschiedenen Versuchstagen gut reproduzierbar (s. auch S.21). Dies gilt besonders für die "Treffsicherheit" des Schätzwertes 37°C . In diesem Bereich war die Genauigkeit der Schätzungen auch relativ unabhängig vom Erfahrungszustand, vom Trainingszustand oder vom individuellen Antwortbereich, der z.B. durch evtl. Kenntnis der Schmerzgrenzen bestimmt wird. Auch die Einbettung des Reizes " 37°C " in eine Reizserie scheint diese Genauigkeit nicht zu erhöhen, denn dieser wurde auch als allein angebotener Reiz mit gleicher Präzision benannt.

An dieser Stelle sei schon vor einer näheren Diskussion

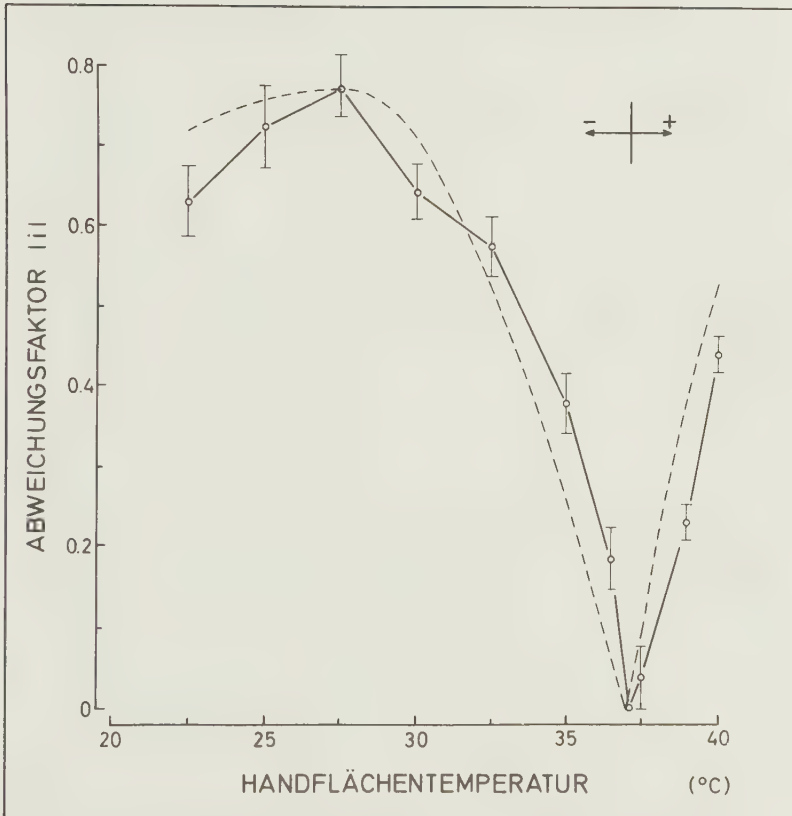


Abb. 11: Abweichungsfaktor $|ii|$ in Abhängigkeit von der Handflächentemperatur. Die Klammern bezeichnen die Standardabweichung des Mittelwertes.

(Kap. IV) auf die Ähnlichkeit der Fehlerstruktur mit der in Abb.11 gestrichelt eingezeichneten Charakteristik hingewiesen. Diese Linie zeigt die auf gleichen Maßstab wie der Faktor $|i|$ gebrachte relative Differenz zwischen der mittleren Impulsfrequenz von Kalt- und Warmrezeptoren bei der Katze (Hensel u. Kenshalo, 1969) und damit unterhalb 37°C das relative Überwiegen von Kalt- und oberhalb von Warmrezeptoren. Dementsprechend zeigen die Reizeinstufungen der Versuchspersonen (Faktor $|i|$) in bezug auf 37°C unterhalb eine Übersteigerung zum Kälteren (-) und oberhalb zum Wärmeren (+), verglichen mit der physikalischen Handflächentemperatur (Äquidistanzlinie, Abb.10).

Neben dieser Struktur der Benennung absoluter Größen beinhalten die Schätzungen der Versuchsperson aber auch eine relative Charakteristik (= Kernlinie), wenn man die Benennungen als relativ zueinander abgestuft auffaßt. So werden die Schätzwerte mit anderen relativen Skalierungen vergleichbar. Dies gilt auch für die zweidimensionale Skala nach kalt/warm, wenn man sie nicht wie sonst üblich durch die Aussage "weder kalt noch warm" trennt, sondern bei der Skalierung die Aussagen von kalt (-) nach warm (+) aufsteigend auffaßt.

Für die vorliegenden Versuche wurden die relativen Strukturen der Schätzung und der kalt/warm-Aussage in einer solchen eindimensionalen Auftragung für den angebotenen Reizbereich verglichen: Eine als 14°C geschätzte Handflächentemperatur von 25°C wurde im Mittel als -5,5 kalt, eine als 24°C geschätzte Handflächentemperatur von $32,8^{\circ}\text{C}$ als "weder kalt noch warm" mit ± 0 und eine als 48°C geschätzte Handflächentemperatur von 40°C als + 8 warm eingestuft. In Abb.10 sind am rechten Rand der Indifferenzpunkt und die jeweiligen Einheiten für "kalt" (-) und "warm" (+) angezeigt. Die Korrelation zwischen den Verläufen beider Aussageformen

für die jeweilige Versuchsperson war sehr hoch (mittlerer Korrelationskoeffizient: $\bar{r} = 0,97 \pm 0,03$). Der beiden Aussageformen gemeinsame relative Verlauf in Abhängigkeit von der effektiven Hauttemperatur ist in Abb.12 dargestellt. Die Reizaussage bei einer Hauttemperatur von 25°C wurde dabei = 0, die bei 37°C = 1 gesetzt.

Man erkennt, daß im Bereich zwischen 28 und 40°C die relative Reizantwort proportional zum Reiz verläuft, also verschiedene physikalische Reize unterschiedlich benannt werden. Unterhalb 28°C wird diese Unterschiedsempfindlichkeit sehr klein. Auch in Abb.10 sieht man die fast gleich bleibenden Schätzungen unterhalb 28°C , obwohl die Handflächentemperaturen um 5°C differieren.

Zur genaueren Untersuchung dieses Bereichs wurden den Versuchspersonen Reize bis zu Hauttemperaturen von 17°C , also bis in den Schmerzbereich hinein, angeboten. Um diese Temperaturbereiche besser erreichen zu können, wurden die Hände nicht auf Thermoden aufgelegt, sondern in gleichmäßig strömendes Wasser eingetaucht. (Zur Beziehung Wasser - Hauttemperatur, siehe Abb.4).

Um den Versuchspersonen möglichst genaue Aussagen zur Unterschiedserkennung zu ermöglichen, wurde eine bilaterale Differenzschätzung zwischen einem konstanten Referenzreiz (28°C) an der linken Hand und verschiedenen statischen Temperaturen (Adaptationszeit 30 min) zwischen 28 und 17°C an der rechten Hand verwendet (Abb.13).

Auch bei dieser Methode wird der Sachverhalt von Abb.10 und 12 (Kreise) unterhalb von 28°C bestätigt: Es wurde keine wesentliche Temperaturdifferenz erfahren, bis die Hauttemperaturen der rechten Hand unter etwa 22°C sanken. Bei tieferen Temperaturen der rechten Hand wurde diese Hand als kälter als die andere eingestuft, allerdings mit der Angabe einer Qualitätsänderung durch beginnenden

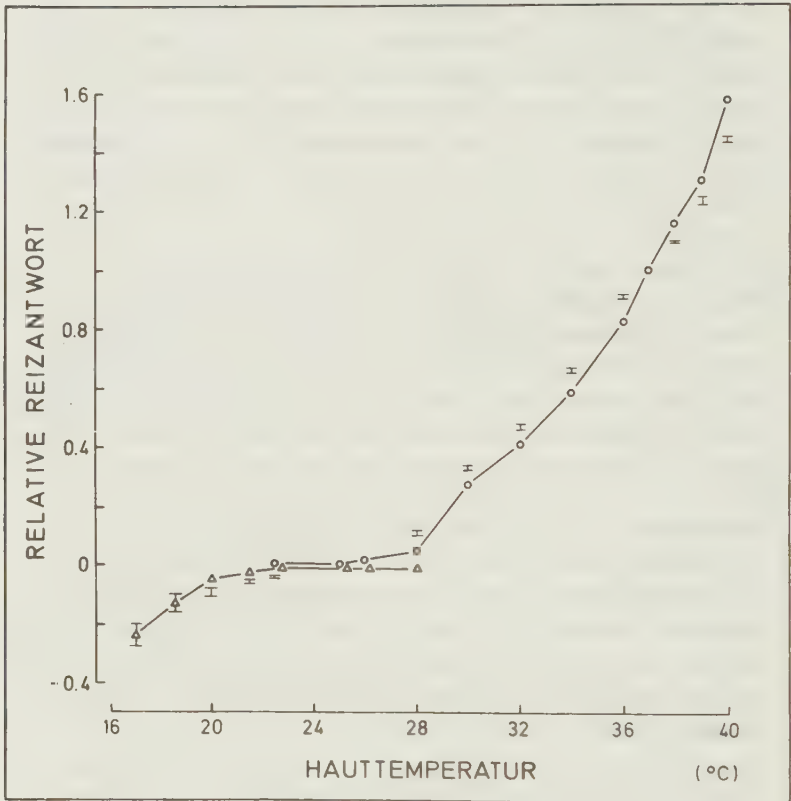


Abb. 12: Relative Reizantwort in Abhängigkeit von der angebotenen Handflächentemperatur. Bezugsintervall: 25-37°C. Kreis: Mittelwerte an einer Hand (20 Versuchspersonen). Dreieck: Mittelwerte aus bilateralen Vergleichen an der rechten und linken Hand (12 Versuchspersonen). Die Klammern bezeichnen die Standardabweichung des Mittelwertes.

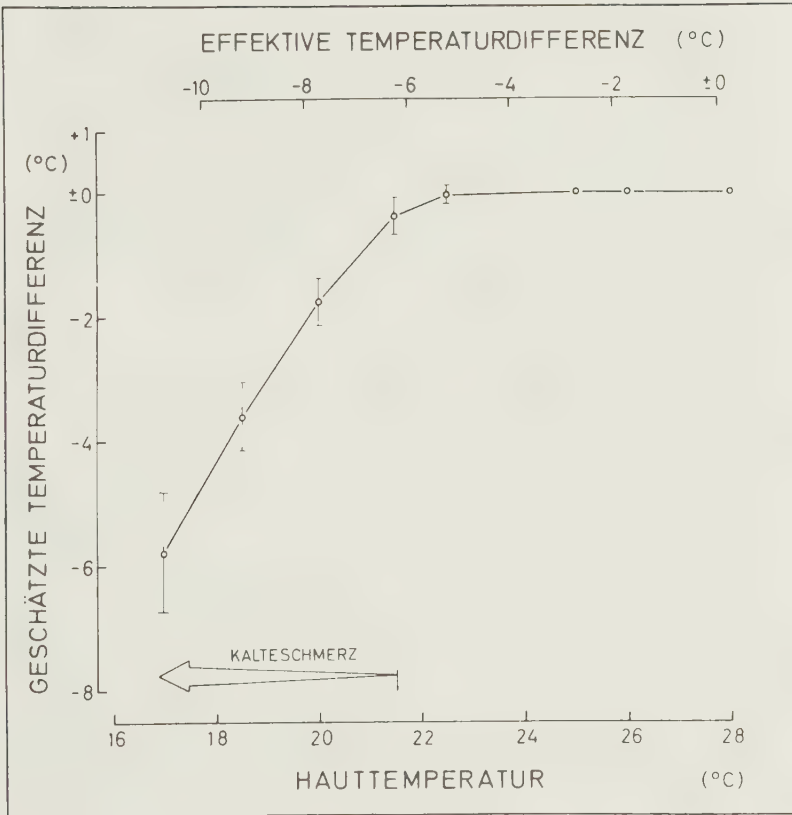


Abb. 13: Geschätzte Temperaturdifferenz in $^{\circ}\text{C}$ zwischen linker und rechter Hand. Bei konstanter Handflächentemperatur einer Hand von 28°C wurde die Handflächentemperatur der anderen Hand für jeweils 30 min in den auf der Abszisse angezeigten Werten verändert. Mittelwerte für 12 Versuchspersonen. Die Klammern bezeichnen die Standardabweichung des Mittelwertes.

Kälteschmerz. Wurde als Referenzreiz statt 28°C eine geringfügig höhere Temperatur (z.B. 29°C) angeboten, so war den Versuchspersonen auch eine Unterscheidung von Temperaturen oberhalb von 22°C in bezug auf diesen Referenzreiz möglich. Die recht plötzliche Zunahme der Unterschiedsempfindlichkeit im Bereich von 28°C zeigt auch der Knick in der relativen Reizantwort in Abb.12. Die Befunde dieser begleitenden Untersuchung sind zur besseren Übersicht für den Gesamtreizbereich von $17-40^{\circ}\text{C}$ auch in Abb.12 eingetragen (offenes Dreieck).

Es ergibt sich also für statische thermische Reize zwischen 17 und 40°C eine Antwortcharakteristik, die im wesentlichen durch drei Bereiche bestimmt wird: Dem Bereich zwischen 40 und 28°C mit einer gleichsinnigen Veränderung der Reizantwort mit einer Reizänderung, dem Bereich zwischen 28 und 22°C mit mehr oder weniger gleichen Einstufungen verschiedener Reize und dem Bereich unterhalb 22°C mit beginnendem Schmerz.

Die Feinstruktur der drei Bereiche kommt bei einer Darstellung der Änderung der relativen Reizantwort pro $^{\circ}\text{C}$ -Reizänderung noch besser zum Ausdruck (Abb.14). Dabei wird in der gewählten Darstellung die relative Änderung als ein Maß für die jeweilige Unterschiedsempfindlichkeit aufgefaßt. Demnach ergibt sich für die applizierten statischen Reize nicht wie bei dynamischen Reizen (Stevens, 1960a) eine spezifische Potenzfunktion für die Aussagen "warm" oder "kalt", sondern eine Empfindlichkeitscharakteristik, die ein Minimum zwischen 28 und 22°C , ein relatives Minimum zwischen 30 und 34°C und ein relatives Maximum bei 37°C zeigt (Abb.14). Oberhalb 39°C Handflächentemperatur nimmt die Empfindlichkeit stark zu. 1°C Reizänderung wird in diesem Bereich subjektiv als eine Änderung um mehr als 5°C eingestuft. Geht man davon aus, daß die hier definierte Empfindlichkeit umgekehrt pro-

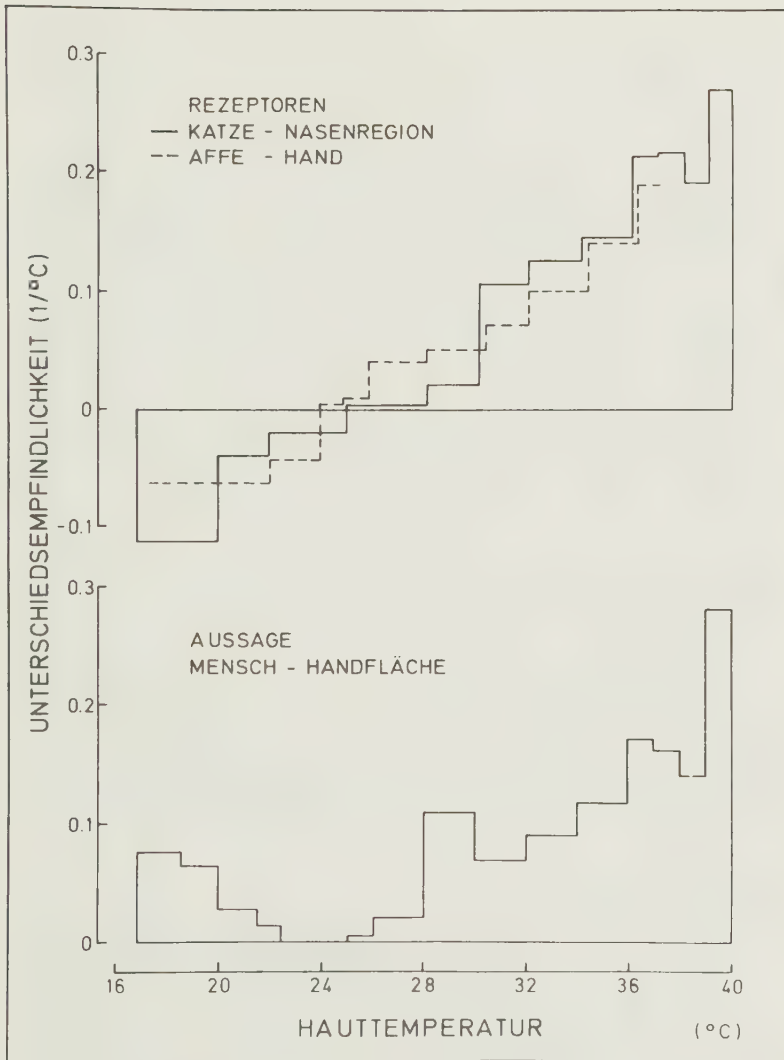


Abb.14: Unterschiedsempfindlichkeit beim Menschen (Änderung der relativen Reizantwort, unten) und von Rezeptoren in der Katzennase (Hensel u. Kenshalo, 1969) und Affenhand (Dykes, 1975) (relative Änderung der mittleren Impulsfrequenz, oben) in Abhängigkeit von der Hauttemperatur.

portional zur Schwelle ist, so werden diese Ergebnisse mit neueren Untersuchungen zur Unterschiedsschwelle (Erickson u. Poulos, 1973) vergleichbar.

Zum Vergleich der Empfindlichkeits-Struktur mit bisher bekannten Rezeptoreigenschaften bei statischen Reizbedingungen ist in Abb.14 (oben) die relative Änderung der mittleren Impulsfrequenz von Kalt- und Warmrezeptoren in der Katzennase (Hensel u. Kenshalo, 1969) und Affenhand (Dykes, 1975) dargestellt. Für eine mit der Aussage des Menschen vergleichbare kontinuierliche Darstellung im Bereich von 17-40°C wurde angenommen, daß für eine Änderung der Reizantwort in Richtung "wärmer" eine Abnahme der Impulsfrequenz der Kalt- und eine Zunahme der Impulsfrequenz der Warmrezeptoren gleichbedeutend sei.

Die Ähnlichkeit zwischen der Reizaussage des Menschen und der Impulsfrequenz beim Tier in Abb.14 ist bis etwa 26°C außer dem Bereich zwischen 28 und 30°C augenscheinlich recht groß. Unterhalb 25°C aber steht mit Abnahme der Impulsfrequenz der negative Gradient, was einem "wärmer" entsprechen müßte (oben), im Widerspruch zu der bis 22°C reichenden Unterschiedsunempfindlichkeit und zu dem bei tieferen Temperaturen positiven Gradienten in Richtung "kälter" oder sogar "Kälteschmerz" (unten).

2. Reizbeurteilung

Neben der beschriebenen Reizerkennung ist der Wahrnehmer auch in der Lage, eine verhaltensorientierte Reizbeurteilung vorzunehmen. Diese affektive Antwort wird mehr als die lokale Temperaturempfindung bei der Reizerkennung mit einer Temperaturintegration und dem thermischen Status des Wahrnehmers in Verbindung gebracht (Cabanac, 1972; Hensel, 1973c). Die damit postulierte Abgrenzung einer Beurteilungsfähigkeit von einer Erkennungsfähigkeit wird neben den verschiedenen Ausdrucksformen durch die

in Abb.9 dargestellten Befunde unterstützt (s. auch S.24).

Bei der Reizbeurteilung oder auch affektiven Antwort wird der Reiz üblicherweise nach angenehm oder unangenehm eingestuft, mit einer Neutral-Zone zwischen beiden Komponenten. Diese Neutral-Zone ("weder angenehm noch unangenehm") darf entsprechend dem verschiedenartigen Aussageinhalt nicht mit der Indifferenz-Zone ("weder warm noch kalt") verwechselt werden; auch wenn beide für einen Reiz einmal zusammenfallen. So wurde in den Versuchen ein statischer Handreiz von $32-33^{\circ}\text{C}$ bei einer als neutral empfundenen integralen Hauttemperatur von 34°C (s. S.14) sowohl als indifferent als auch neutral eingestuft. Für andere integrale Hauttemperaturen dissoziieren aber beide Zonen.

Die Antwortskala bei den Versuchen zur Reizbeurteilung wurde im Gegensatz zur sonst üblichen 4-Teilung als 8-teilig von + 4 (sehr angenehm) bis - 4 (sehr unangenehm) angesetzt, um den Versuchspersonen bessere Möglichkeiten zur differenzierteren Aussage zu geben. Bei variierter integraler Hauttemperatur und damit verändertem thermischem Status wurden von den Versuchspersonen statische Reize an den Handflächen in diese limitierte Skala eingeordnet (s. auch S.26). Die während der Veränderung des thermischen Status konstant bleibenden Reize haben dabei gegenüber einer randomisierten Reizfolge dynamischer Reize (Cabanac et al., 1976) den Vorteil, daß die jeweilige Beurteilungsveränderung gleicher Reize unmittelbar verfolgt werden kann.

Die Grenzen für die Änderung der integralen Hauttemperatur ($15^{\circ}\text{C} \leq \text{Raumtemperatur} \leq 45^{\circ}\text{C}$) wurden so gewählt, daß die Versuchspersonen merklich weder im unteren Temperaturbereich froren noch im oberen schwitzten und die Rektaltemperatur möglichst gleich blieb. Diese Forderungen sind

in etwa bei integralen Hauttemperaturen zwischen 30 und 37°C erfüllt.

Im Gegensatz zu anderen Untersuchungen (Cabanac et al., 1976), die durch massive Reize (z.B. Wasserbäder) den thermischen Status über den normalen ausgeregelten Lebensbereich der Versuchsperson hinaus verändern, wurde hier davon ausgegangen, daß nur innerhalb dieses durch Verhalten eingegrenzten Lebensbereichs die dafür wichtigen Beurteilungsfähigkeiten aufzudecken seien.

Bei konstant bleibender Kerntemperatur (im Versuch betrug die mittlere Rektaltemperatur $36,93 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$) spielt die Hauttemperatur für Verhalten und Komfort-Erleben eine wesentliche Rolle. Auch wenn die Gewichtung der Hauttemperatur für die Thermoregulation kleiner als die der Kerntemperatur ist, so muß aber doch gesehen werden, daß wir bei veränderten Umweltbedingungen normalerweise zuerst auf eine Änderung der Hauttemperatur reagieren. Die Hauttemperatur ist bei einem Einflußgradienten von außen nach innen gewissermaßen das Verhaltenssignal.

Abb. 15 zeigt die Veränderung der Aussage "angenehm/unangenehm" für gleichbleibende Handflächentemperaturen bei verschiedenen integralen Hauttemperaturen. (Integrale Hauttemperatur definiert nach Ramanathan in: Mitchell u. Wyndham, 1969). Zur besseren Übersicht sind die kontinuierlichen Verläufe für die tiefste ($T_{\text{HF}} = 25^{\circ}\text{C}$) und höchste ($T_{\text{HF}} = 38^{\circ}\text{C}$) applizierte Temperatur dargestellt. Die Einstufungen für weitere Reize von 27, 29, 34 und 36°C sind in Abb. 16 angegeben. Bei einer integralen Hauttemperatur von 31°C (Raumtemperatur ca. 17°C, Versuchsperson unbekleidet) wird demnach eine Handflächentemperatur von 38°C als fast sehr angenehm (im Mittel + 3), 25°C als unangenehm (im Mittel - 2) und ca. 33°C als neutral eingestuft. Bei einer integralen Hauttemperatur von 37°C werden die Handflächentemperaturen von 38°C (- 1,4) und 25°C (+ 2,2)

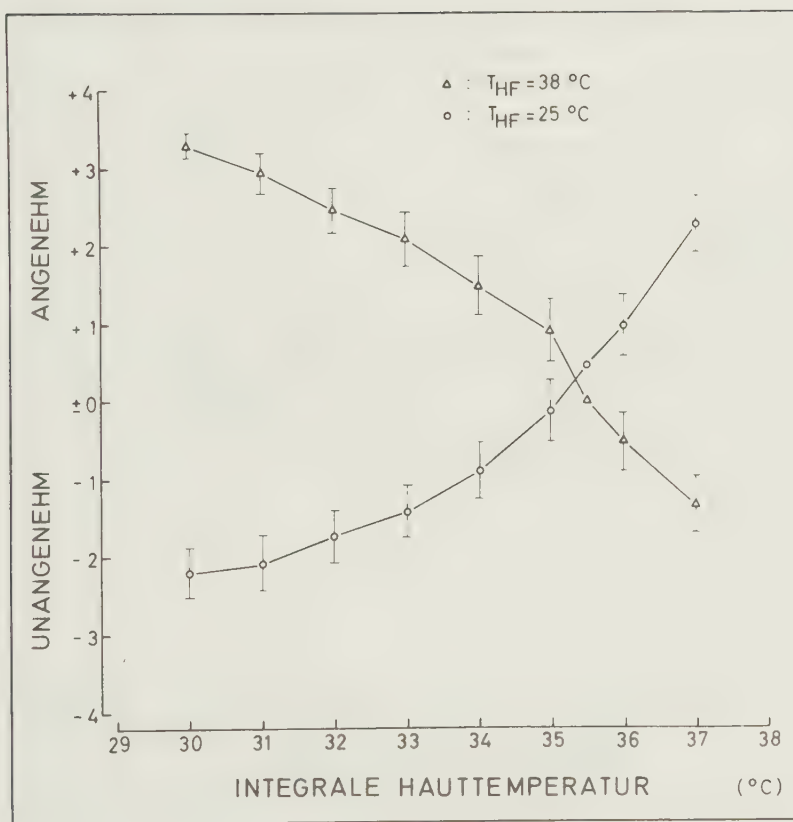


Abb. 15: Einstufungen von 25 und 38^oC (Handflächen-temperaturen T_{HF}) nach angenehm oder unangenehm in Abhängigkeit von der integralen Hauttemperatur. Mittelwerte von 12 Versuchspersonen in 29 Versuchen. Die Klammern bezeichnen die Standardabweichung des Mittelwertes.

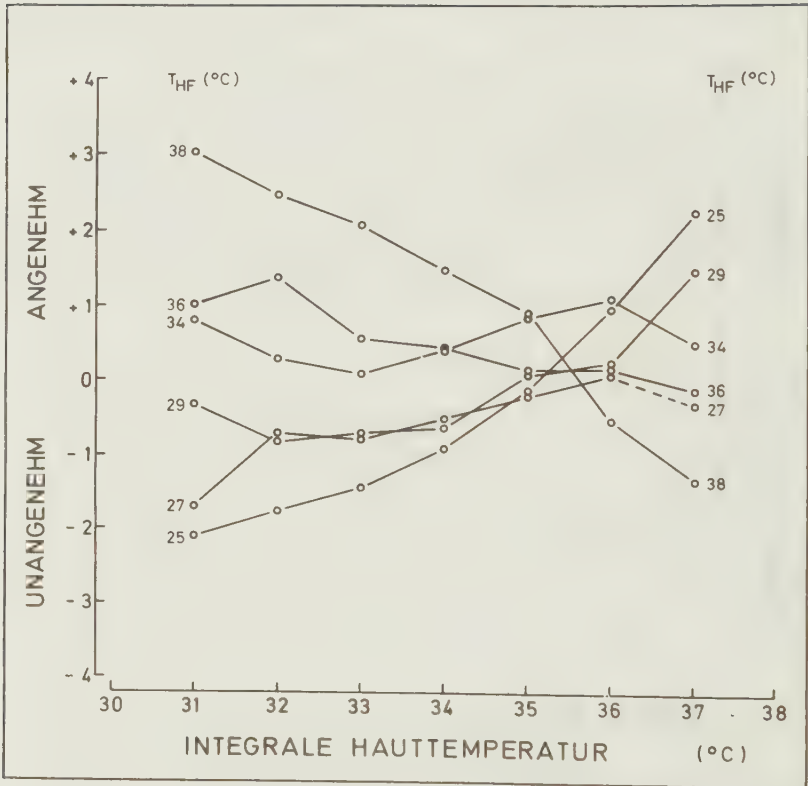


Abb. 16: Einstufungen verschiedener Handflächentemperaturen (T_{HF}) nach angenehm oder unangenehm in Abhängigkeit von der integralen Hauttemperatur. Mittelwerte von 12 Versuchspersonen. Versuchsausführung für jeweils zwei Reize an verschiedenen Tagen.

gegensätzlich und ca. 35°C als neutral beurteilt. Es ist zu erkennen, daß eine Invertierung der Reizantwort um die als neutral eingestuften Temperaturen stattfindet. Man beachte dabei, daß diese schon aus anderen Untersuchungen (Cabanac, 1972; Cabanac et al., 1976) bekannte Invertierung als Ausdruck einer veränderten Motivationslage nicht erst wie dort angenommen bei veränderter Kerntemperatur, sondern schon bei veränderten Hauttemperaturen erscheint. Wie Abb.15 für zwei sehr verschiedene Reize deutlich zeigt, durchläuft die Reizaussage dabei vor ihrer Umkehrung eine Gleichbeurteilungsphase (beide Reize werden im Schnittpunkt als gleich beurteilt). Die beschriebene Änderung der Beurteilung wird hier auf unterschiedliche integrale Hauttemperaturen bezogen, in deren Definition (s. S.40) auch das Gewicht der Hauttemperatur verschiedener Körperregionen berücksichtigt ist.

Auch wenn die Aussagen über die weiteren applizierten Reize zwischen 38 und 25°C wegen verschiedener Versuchstage nicht unmittelbar verglichen werden können, so wird doch auch für sie der beschriebene Verlauf im wesentlichen bestätigt (Abb.16). Daneben ist zu erkennen, daß die erwähnte "Aussagenangleichung" bei $\bar{T}_H \approx 35,5^{\circ}\text{C}$ im Bereich der Aussage "neutral" liegt. Nur eine Handflächentemperatur von 34°C bleibt hier recht eindeutig angenehm (+1). Diese Temperatur von 34°C ist allerdings auch die Hauttemperatur in dem von den Versuchspersonen als angenehm empfundenen thermischen Gesamtstatus (s. auch S.14) und stellt für die Versuchsperson auch bei sonstiger Angleichung der Reize scheinbar einen Sonderfall dar.

Analysiert man für alle angebotenen Reize den Trend der Reizantworten bei verschiedenen integralen Hauttemperaturen mit Regressionen (Abb.17), so zeigt sich mit steigender integraler Hauttemperatur $\bar{T}_H$ ein "Umklappen" des Trends, wobei die vorher als zunehmend angenehmer eingestufen

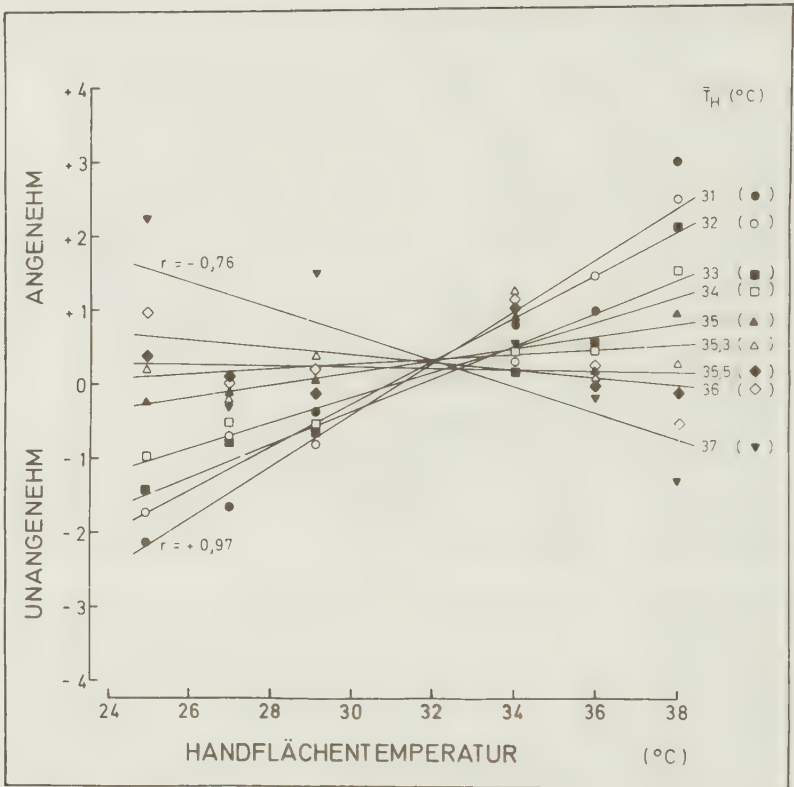


Abb. 17: Mittelwerte der Einstufungen nach angenehm oder unangenehm in Abhängigkeit von konstanten angebotenen Handflächentemperaturen bei verschiedenen integralen Hauttemperaturen mit den dazu berechneten linearen Regressionen.

steigenden Handflächentemperaturen (positive Regression) über Zwischenstadien jetzt unangenehmer werden (negative Regression). Deutlicher wird dies noch für die stark verschiedenen Reize 25 und 38°C und an der Darstellung des Regressionskoeffizienten in Abhängigkeit von der integralen Hauttemperatur (Abb.18). Es zeigt sich, daß bei $\bar{T}_H = 31^\circ\text{C}$ und 37°C der relativ höchste Koeffizient auftritt, d.h., daß die verschiedenen applizierten Reize tendenziell in diesem thermischen Status gut unterschieden werden. Bei $\bar{T}_H = 35,5^\circ\text{C}$ wird der Regressionskoeffizient praktisch Null (-0,007), was einer Tendenz zur Gleichbeurteilung aller Reize bei dieser integralen Hauttemperatur entspricht. Die Antworten streuen hier für die verschiedenen Reize nur noch im engen Bereich zwischen +0,4 und -0,1.

Im Bereich dieser Beurteilungs-Annäherung wird auch der Unterschied zwischen der Reizantwort in der Reizerkennung und der in der Reizbeurteilung besonders deutlich. Trotz gleicher Einstufung verschiedener Reize nach angenehm/unangenehm werden diese in der Temperaturschätzung und der Aussage nach kalt/warm noch als verschieden erkannt (s. auch S. 24).

Die integrale Hauttemperatur von $35,5^\circ\text{C}$ ist aber nicht nur durch die beschriebene Gleichbeurteilung verschiedener Reize ausgezeichnet, sondern auch durch eine Fokussierung der Aussagen auf "neutral". Was sich in Abb. 15 bei zwei Reizen und in Abb. 17 schon leicht erkennen läßt (Schnittpunkt (Abb.15) und "Drehpunkt" (Abb.17) nahe bei "neutral"), wird für alle applizierten Reize in Abb.19 durch einen Abstandsfaktor dargestellt.

$$|v| = \frac{|\sum \text{Reizaussagen}|}{|\sum \text{Reizaussagen}|_{\bar{T}_H=31^\circ\text{C}}} \quad (3)$$

Dieser Faktor zeigt den relativen Verlauf der Abstände aller Aussagen von neutral und damit die Einschätzung

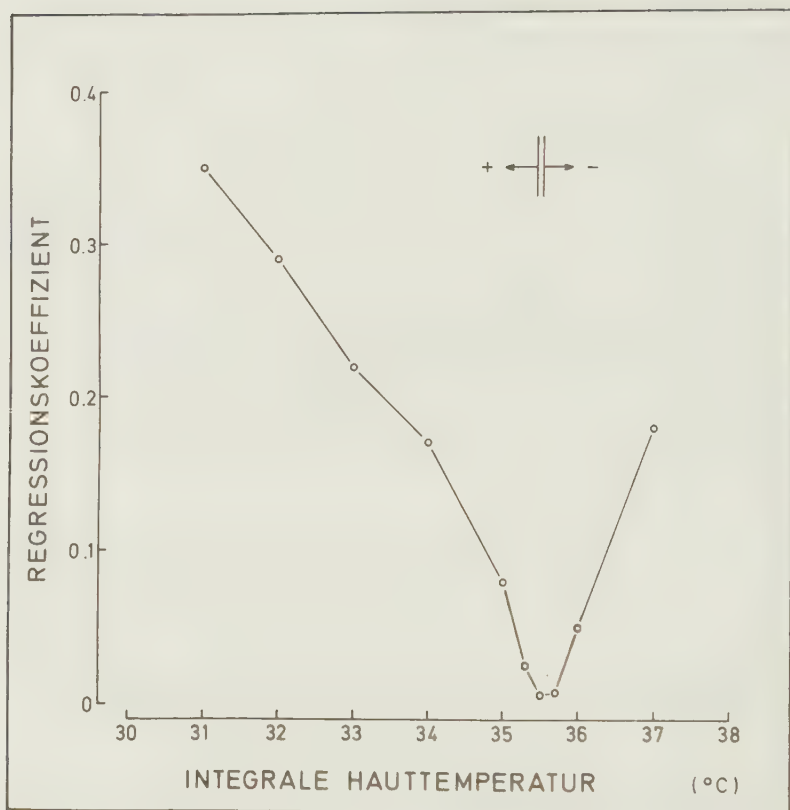


Abb. 18: Regressionskoeffizient für die Veränderung der Aussage "angenehm/unangenehm" mit verschiedenen aufsteigenden Handtemperaturen ($25^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{HF}} \leq 38^{\circ}\text{C}$) bei verschiedenen integralen Hauttemperaturen. (+ = positive Regression; - = negative Regression).

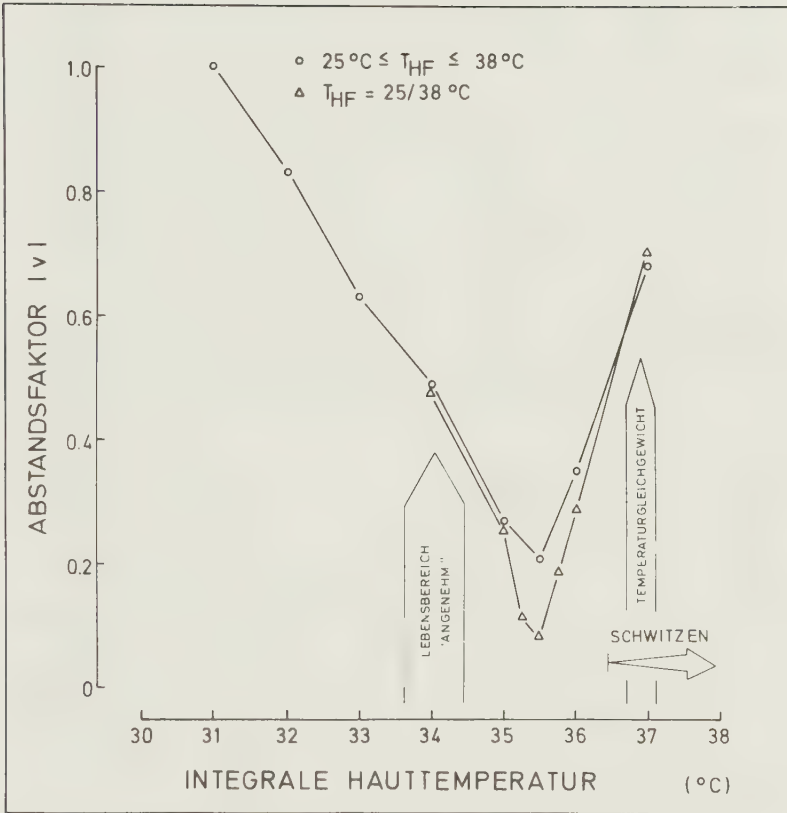


Abb. 19: Abstandsfaktor $|v|$ für verschiedene Temperaturkonstellationen (Kreis: für alle applizierten Reize zwischen 25°C und 38°C ; Dreieck: nur für 25 und 38°C) in Abhängigkeit von der integralen Hauttemperatur.

der Gesamtreizkonstellation in bezug auf diesen Wert. Werden zum Beispiel alle Reize gleichzeitig als neutral (Reizaussage ± 0) beurteilt, so wird $|v| = 0$.

Aus Abb.19 ergibt sich, daß der Abstandsfaktor diesem Wert bei $\bar{T}_H = 35,5^\circ\text{C}$ am nächsten kommt. Der Mittelwert aller Reizeinstufungen in diesem thermischen Status ist $+ 0,3$ und liegt damit bei einer möglichen Aussagebandbreite von ± 4 sehr nahe bei neutral. Für die zwei extremen Reize 25 und 38°C allein liegt der Faktor $|v|$ noch näher bei 0 (Abb.19, offenes Dreieck). Von der Versuchsperson wurde also keine Entscheidung zur Ablehnung oder Bevorzugung bestimmter Reize getroffen (Abb.17-19), auch wenn diese stark unterschiedlich waren. Der Wahrnehmer zeigt sich demnach in einem bestimmten Status minimal entscheidungsfreudig oder neutral im Verhalten.

Interessant ist die Lage der relativen Minima in den Abb.18 und 19 bei einer integralen Hauttemperatur von $35,5^\circ\text{C}$. Sie liegen weder bei 37°C noch bei $32-33^\circ\text{C}$, zwei wichtigen Temperaturen der Reizerkennung (Kap. III,1), sondern in der Mitte zwischen den verhaltenstheoretisch und thermoregulatorisch wichtigen Punkten "Lebensbereich angenehm" ($\bar{T}_H = 34^\circ\text{C}$, s. S.14) und "Temperaturgleichgewicht" ($\bar{T}_H = 37^\circ\text{C}$) (Abb.19).

Die in Abb.18 und 19 beschriebenen Beurteilungsverhältnisse bei bestimmten integralen Hauttemperaturen zeigen, daß die relative Skalierung verschiedener Reize bei einer integralen Hauttemperatur sich mit dem thermischen Status ändert. Die verschiedenen Regressionen (Abb.17,18) zeigen eine sich verändernde Abhängigkeit der Antwort vom Reiz an. Endphase dieser Änderung ist die Gleichbeurteilung bei neutral (Abb.18,19), was einer Ausweitung des sonst schmalbandigen ($2-3^\circ\text{C}$) Neutralbereichs auf fast alle applizierten Reize entspricht.

Diese verschiedenen Unterschiedsempfindlichkeiten bei verschiedenen integralen Hauttemperaturen machen Interpolationen zwischen den relativen Antworten verschiedener integraler Hauttemperaturen wenig sinnvoll. Zur Klassifikation der Gesamtabhängigkeit von Antwort und Reiz (Antworttrend) können aber die in Abb.17 und 18 dargestellten Regressionen benutzt werden. Die Feinstruktur der Unterschiedsempfindlichkeit wird hierdurch noch nicht beschrieben, da man nicht davon ausgehen kann, daß die einzelnen Antwortstrukturen äquidistant zum physikalischen Reiz sind. In diesem Sinn sind die linearen Regressionen mehr trendanalytisch verstanden, auch wenn sich recht hohe Korrelationen ergeben.

Es sei vor diesem Hintergrund darauf hingewiesen, daß die Anwendung einer Regressions-Rechnung bei randomisierten Reizfolgen zur Bestimmung der Reizantwortstruktur in einem thermischen Status nicht empfohlen werden kann. Vielmehr sollte die Antwortstruktur bei jeder thermischen Lage möglichst unmittelbar ermittelt werden.

Aber nicht nur die Reizantwort auf verschiedene Reize bei einer integralen Hauttemperatur, sondern auch die Antwort auf einen gleichbleibenden Reiz bei verschiedenen Hauttemperaturen zeigt eine relative Änderungscharakteristik (Abb.20). Diese ist der Deutlichkeit wegen für die Handflächentemperaturen 25 und 38°C dargestellt. Für beide Reize zeigt sich zwischen 31°C und 36°C integraler Hauttemperatur etwa der gleiche Verlauf mit sich vergrößernder relativer Aussageänderung pro °C-Erhöhung der integralen Hauttemperatur. Nur unterhalb von 31°C wird diese für das Erkennen einer Statusänderung wichtige Unterschiedsempfindlichkeit für den "warmen" Handreiz (38°C) größer als für den "kalten" Reiz (25°C), oberhalb von 36°C ist dies umgekehrt. Da beide konstanten Reize gegenläufig eingestuft werden (Abb.20, +,-), ergibt sich in diesen Bereichen eine größere

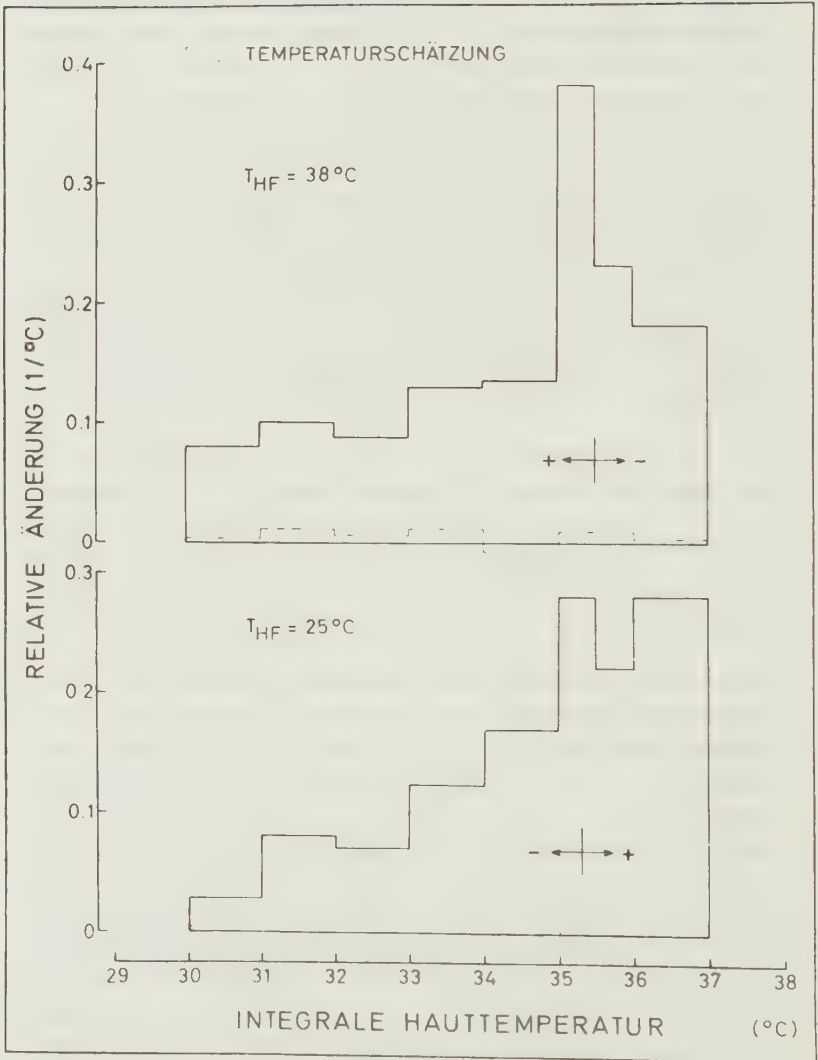


Abb. 20: Relative Änderung der Aussage angenehm/unangenehm (bezogen auf die Gesamtänderung) in Abhängigkeit von der integralen Hauttemperatur für zwei Handflächen-temperaturen ($T_{HF} = 38^{\circ}\text{C}$, 25°C).

Empfindlichkeit für den angenehm eingestuften Reiz. Im Bereich der Invertierung ($T_H = 35,5^{\circ}\text{C}$), indiziert durch die Gleichbeurteilung aller angebotenen Reize in diesem Status als neutral, hat die relative Änderung der Aussage ein relatives Maximum. Eine Änderung dieses Status zieht also die größte Reaktion des Wahrnehmers in seiner Reizeinschätzung nach sich.

IV. Diskussion

Auch wenn immer noch Unsicherheiten in den Fragen der organischen Vorgänge beim Menschen, wie effektive Reizgröße für den Rezeptor, sensorische Vorgänge oder kortikale Repräsentation mit Temperaturintegration verbleiben, so können wir doch aus den Versuchen einige bisher nicht beachtete Fähigkeiten des Menschen bei der Wahrnehmung statischer Reize aufdecken. Es zeigt sich dabei, daß Versuche mit kleinen Reizflächen (Kenshalo u. Scott, 1966) nicht wirklichkeitsnah sind und einen Verlust der Wahrnehmungsfähigkeit bedingen, der bei größeren und größten Reizflächen (Maréchaux u. Schäfer, 1949; Hensel, 1952), wie sie im täglichen Leben meistens vorkommen, nicht stattfindet. Bei den hier benutzten Reizflächen von 75 cm^2 (S.4/7) tritt jedenfalls auch nach 2 Std. Reizdauer keine empfindungsfreie Einstellung auf (S.17/27). Statt von einem Abklingen der Empfindung muß man eher von einer oszillierenden Variation sprechen (S.16), die in einer Einstellungsvariation des Wahrnehmers oder biologischen Vorgängen begründet sein kann.

Dies zeigt, daß in den verschiedenen Experimenten zur Wahrnehmung zum einen die physikalischen Bedingungen (Kap. II,1) und die Einflüsse durch den Wahrnehmer (Kap. II,2) für eine Vergleichbarkeit nicht genau genug definiert sein können, zum anderen man sich aber auch einer Wirklichkeitsnähe dieser Bedingungen versichern sollte.

Dies gilt in verstärktem Maße auch für die Instruktion der Versuchsperson und die angewandten Skalierungsmethoden für die Reizantwort. Beschränkt man sich wie in der heute vertretenen sogenannten Psychophysik (Stevens, 1960a,b) vornehmlich auf relativ skalierende Methoden, so ist nur die Bestimmung von relativen Reizantworten und Schwellen, also formalen Maßen, möglich. Mögliche weitergehende Wahrneh-

mungsfähigkeiten und Stellungnahmen in der Lebenssituation des Wahrnehmers z.B. in bezug auf einen absoluten thermischen Status sind nicht aufdeckbar. Ganz abgesehen davon, daß auch Aspekte bezüglich der Reizqualität (Erickson u. Poulos, 1973) unberücksichtigt bleiben. Hier führt nur die umfassendere Kommunikation mit dem Wahrnehmer in anderen Ausdrucksformen (S.20) mit Berücksichtigung seiner Lebenswelt (S.13-16) weiter.

Die Ergebnisse der Experimente zeigen, daß der Mensch auch Möglichkeiten besitzt, sich nicht nur relativ zu einer Reizänderung, sondern auch eindeutig über einen absoluten Wärmestatus zu äußern (S.27-31 u. S.40-47). Dieses Wissen des Wahrnehmers über den augenblicklichen Reizzustand könnte mit der Empfindlichkeit, einen anderen Status zu entdecken, als Statusbewußtsein verstanden werden, wobei die Empfindlichkeit als umgekehrt proportional zum üblichen Begriff "Schwelle" benutzt wird. Dieses Bewußtsein bildet eine Einstellung und Aussage zum Reiz, die sich in den Versuchen als erstaunlich präzise und stabil in der Zeit erwies (Abb.8 u. S.21).

Die sich dadurch andeutende gewisse Eigenständigkeit und Unbeeinflußbarkeit der Reizwertigkeit für den Wahrnehmer wird auch durch die interindividuelle Ähnlichkeit der Antwortcharakteristiken (durchweg kleine Streuungen) unterstrichen. Vergewegenwärtigt man sich trotz der relativ homogenen Versuchspersonen-Gruppe (S.13-16) die verschiedenen Lebensbereiche der Versuchspersonen, so muß die Ursache der spezifischen Charakteristik in allen Versuchspersonen gemeinsamen Faktoren aus Erfahrungswelt und Organbereich zu suchen sein. Die Einflußgrößen des Organbereichs (z.B. Rezeptoreigenschaften) sind für den Menschen wegen fehlender Untersuchungen allerdings noch schwer interpretierbar, höchstens in einem Vergleich mit Befunden am Tier (S.56/57).

Das Hauptinteresse liegt aber zuvor in der Aufdeckung herausragender Reizbewertungen durch den Wahrnehmer. Diese Punkte in der Aussage zeigen mit einem besonderen Statusbewußtsein die Reizsituation mit dem höchsten Stellenwert für den Wahrnehmer im Vergleich zu anderen Status an. Sie sind gewissermaßen als Resonanzen zwischen physikalischem Reiz und Wahrnehmer zu verstehen, die sich durch eine besondere Präzision in der Aussage und eine hohe Empfindlichkeit für Statusänderungen auszeichnen. Bei Aussagen, die eine Entscheidung zwischen klaren Begriffen treffen, wie z.B. zwischen angenehm oder unangenehm, werden diese erstrebenswerten Reizbereiche durch eine "Unentschiedenheit" (indifferent, neutral) angesprochen.-Der Begriff "Unentschiedenheit" wird hier dem sonst üblichen Begriff "Empfindungsfreiheit" vorgezogen, da er die Befunde der Versuche unterstreicht, daß an diesen Punkten kein "Wahrnehmungsvakuum" für den Wahrnehmer besteht.-

Diese Aussage-Inhalte zeigen sich sowohl in der Reizerkennung als auch in der Reizbeurteilung. Allerdings haben sie dabei jeweils andere Beziehungen. So ergab sich in den Versuchen, in Übereinstimmung mit früheren Annahmen (Hensel, 1973c), eine weitgehende Unabhängigkeit von Reizerkennung und Reizbeurteilung, wobei als wichtigster Unterschied bei der Reizbeurteilung eine direkte Abhängigkeit der Aussage von der integralen Hauttemperatur (S.24 u. Abb.9) und damit von den Temperaturverhältnissen der Körperoberfläche besteht.

Die Trennung dieser Komponenten ist im Experiment aber hauptsächlich intentional bedingt und durch die Instruktion veranlaßt. In der realen Wahrnehmungssituation findet sich möglicherweise ein komplexeres Zusammenspiel beider Bereiche zur Konstituierung der Reizbewertung des Wahrnehmers. So fallen im normalen Lebensbereich der Versuchspersonen ($T_H = 34^{\circ}\text{C}$, S.14) die Punkte der Unent-

schiedenheit für die Aussage der Reizerkennung nach kalt/warm und der Reizbeurteilung nach angenehm/unangenehm praktisch zusammen. Handflächentemperaturen von $32-33^{\circ}\text{C}$ werden in diesem Fall indifferent als "weder kalt noch warm" (S.32) und neutral als "weder angenehm noch unangenehm" (Abb.16,17) eingestuft. Bei anderen integralen Hauttemperaturen können beide Aussagen aber dissoziieren, da sich die Neutral-Einstufung der Reizbeurteilung zu anderen Reizen hin verschieben kann (Abb. 16 u. S.40/43). Interessant und sicher nicht zufällig ist die Lage der Unentschiedenheit bei Handflächentemperaturen von $32-33^{\circ}\text{C}$ im normalen thermischen Status ($\bar{T}_H = 34^{\circ}\text{C}$); ihr entspricht die sich bei den normal bekleideten Versuchspersonen im Klimaraum Marburg einstellende mittlere Handflächentemperatur (Abb.7).

Neben diesen bisher als einzige Bezugspunkte der Temperaturwahrnehmung angenommenen Zonen ergeben sich aus den Experimenten zwei weitere Bereiche besonderer Reizwertigkeit. Bei der Reizerkennung (Kap. III,1) zeigt sich in der Temperaturschätzung eine Fokussierung auf den Bereich 37°C mit einer maximalen Schätzgenauigkeit (Abb.10,11), einer hohen intra- und interindividuellen Präzision (Abb.10 u. S.28) und einer hohen Empfindlichkeit für eine Auswanderung aus diesem Reizbereich (Abb. 14). Der Bereich mit geringerer Präzision und kleiner Empfindlichkeit (= hohe Schwelle) besonders zwischen 28 und 22°C unterstreicht dies (Abb.10,14). Eine Hauttemperatur von 37°C besitzt für den Wahrnehmer also offenbar in dieser Aussageform einen hohen Stellenwert. Unter- und oberhalb erlaubt dieser sich dagegen Abweichungen in bezug auf den physikalischen Reizwert. Interessant ist dabei, daß die Schätzfehler bei allen Versuchspersonen unterhalb 37°C ein negatives, oberhalb aber ein positives Vorzeichen haben (Abb.11); d.h. in bezug zur physikalischen Nomenklatur eine Verzerrung zu tieferen (-) oder höheren (+) Temperaturen auftritt.

Bei der Eindeutigkeit dieser Tendenzen bei allen Versuchspersonen könnte man geneigt sein, eine gemeinsame Ursache anzunehmen. Ein Hinweis ergibt sich aus Abb.11, wo im gleichen Maßstab wie der Faktor $|i|$ der relative Verlauf der Differenz zwischen der statischen Impulsfrequenz von Kalt- und Warmrezeptoren bei der Katze (aus: Hensel u. Kenshalo, 1969) und damit ein relatives Überwiegen der jeweiligen Rezeptorsignale bei verschiedenen Hauttemperaturen dargestellt ist. Die Ähnlichkeit mit dem Verlauf von $|i|$ ist auffallend.

Zur Erklärung der Phänomene der Temperaturschätzung ist dies freilich nicht ausreichend; vielmehr muß man, da der Schätzfehler ja auf 37°C (Fehler = 0) bezogen ist, annehmen, daß die Versuchspersonen eine stabile Beziehung zum physikalisch 37°C genannten Wärmeinhalt haben und diesen in einer vielleicht im täglichen Leben erworbenen Erfahrung auf die physikalische Nomenklatur beziehen können. Allerdings war die den Versuchspersonen aus ihrem Lebensbereich am besten bekannte Temperatur nicht 37°C , sondern die Raumtemperatur um 20°C .

Die Ähnlichkeit der für die Schätzung und die Aussage nach kalt/warm gleichen relativen Reizantwort (Abb.12 u. S.33) und ihrer Änderung (Abb.14) mit Eigenschaften tierischer Rezeptoren (S.38) scheint zumindest für den relativen Verlauf oberhalb von 28°C eine Rolle der mittleren Impulsfrequenz anzudeuten; auch wenn es beim gegenwärtigen Stand der physiologischen Forschung am Menschen verfrüht ist, eine exakte Zuordnung der gefundenen Phänomene zu spezifischen Ursachen vornehmen zu wollen.

Unterhalb 28°C steht die sehr kleine Unterschiedsempfindlichkeit und der weitere Verlauf der Empfindung in Richtung "kalt" (Abb.14 unten, pos. Gradient) im Widerspruch zur glockenförmigen Charakteristik der mittleren Impulsfrequenz über alle Fasern gemittelt mit ihrem Verlauf in

Richtung "warm" (Abb.14 oben, neg. Gradient). Auch wenn ein solcher Zusammenhang für den Menschen noch zu zeigen bleibt, so muß man künftig bei der Interpretation der Rezeptorsignale vielleicht zu einer wesentlich differenzierteren Betrachtungsweise als bei einer Mittelung möglich übergehen. Die Forderung nach anderen Codierungen zur Herstellung der Eindeutigkeit besonders im Bereich zwischen 28 und 22°C wie in der "Burst-Theorie" (Dykes, 1975) scheint nicht sinnvoll, da sie die sehr kleine Unterschiedsempfindlichkeit in diesem Bereich nicht beachten würde. Grundsätzlich sollte hier die Frage gestattet sein, ob eine Eindeutigkeit der Organeigenschaften in einem Bereich der Hauttemperaturen gefordert werden muß, wo für den Wahrnehmer eine gewisse "Gleichgültigkeit" (niedrige Unterschiedsempfindlichkeit) vorherrscht, und den er durch seine thermoregulatorischen Reaktionen (Zittern unterhalb 30°C) und sein Verhalten möglichst meidet. Die wichtigen Bereiche der Reizbewertung liegen denn auch nach den Befunden dieser Arbeit eindeutig im Bereich der durch den normalen Lebensbereich (zwischen Zittern und Schwitzen) vorgegebenen Hauttemperaturen zwischen 30 und 37°C.

Diese Beziehung der Wahrnehmungskriterien auf die Verhältnisse der Lebenswelt und nicht auf extreme Temperaturkonstellationen zeigt sich auch in der Reizbeurteilung. Nicht erst bei massiver Veränderung des thermischen Status mit sichtbaren thermoregulatorischen Reaktionen oder veränderter Kerntemperatur tritt der für die Reizbeurteilung wichtige Bezugspunkt auf, sondern schon bei einer integralen Hauttemperatur zwischen dem hauptsächlich vorherrschenden Mikroklima ($\bar{T}_H = 34,04^\circ\text{C}$, S.14) und dem Temperaturgleichgewicht ($\bar{T}_H = T_R = 37^\circ\text{C}$) (Abb.19). Indiziert wird diese besondere Reizbewertung bei einer integralen Hauttemperatur von 35,5°C durch eine "Unentschiedenheit" der Aussage (Faktor |v| nahe Null, Abb.19 u. S.48) für alle angebotenen Reize mit einer minimalen

Entscheidungsfreude für einen bestimmten Reiz (Gleichbeurteilung Abb.15,17,18 u. S.45) und einer hohen Empfindlichkeit für eine Auswanderung aus diesem thermischen Status (Abb.20). Oberhalb und unterhalb $35,5^{\circ}\text{C}$ wird die Eindeutigkeit der Aussage (Faktor $|v|$, Abb.19) und Differenzierung einzelner Reize (Abb.18) schnell größer. Gleichzeitig findet in der Gleichbeurteilungs-Phase eine Umstellung der Reizwertigkeit statt, wobei vorher positiv beurteilte Reize negativ und vorher negativ beurteilte positiv eingestuft werden (Abb.15 u. S.40/42, Abb.18).

Die sich hierin ausdrückende veränderte Ambition des Wahrnehmers konstituiert sich dabei über komplexere Reizvergleiche als in der Reizerkennung. Hier eine direkte Rolle von Organeigenschaften über einen Ähnlichkeitsvergleich der Strukturen wie bei der Reizerkennung aufzudecken, scheint wesentlich schwieriger. Bei kritischer Betrachtung ist aber auch bei der Reizerkennung eine direkte Rolle von Eigenschaften einzelner Rezeptoren höchstens in der relativen Struktur der Reizantwort auszumachen (S.56).

Die darüber hinausgehende Beziehung des Wahrnehmers zu bestimmten Reizbereichen, die hier ja als Bewußtsein in einer statischen Reizsituation verstanden wird (S.53), wird sich sicher erst durch höhere Signalintegrationen und zusätzliche Erfahrungen des Wahrnehmers, die dieser dann im Experiment reproduziert, konstituieren.

Daß die Wertigkeit eines Reizes für den Wahrnehmer und damit sein "Verhaltensbewußtsein" dabei mit seiner Lebenswelt korrespondieren kann, zeigt die Lage der im Laufe der Experimente entdeckten Resonanzpunkte (S.54) der Reizerkennung (Kap. III,1) und der Reizbeurteilung (Kap. III,2), jedenfalls für den Klimaraum Marburg, recht deutlich.

V. Zusammenfassung

Anhand von Experimenten mit verschiedenen, mindestens 15 Minuten konstant gehaltenen, Handflächentemperaturen zwischen 17 und 40°C werden exemplarisch die Fähigkeiten von Menschen untersucht, thermische Umwelteinflüsse in Form statischer Reize wahrzunehmen und zu klassifizieren. Dies erweist sich bei der benutzten Reizfläche von 75 cm² auch noch für eine Reizdauer von 2 Stunden als möglich.

Die Stellungnahmen des Wahrnehmers zum Reiz stellen sich in zwei relativ klar getrennten Komponenten dar. Einer objektiveren Reizerkennung mit der Aussage nach "kalt/warm" oder einer Schätzung der Reiztemperatur in °C und einer affektiveren, vom thermischen Status des Wahrnehmers abhängenden Reizbeurteilung mit der Aussage nach "angenehm/unangenehm".

Bei der Reizerkennung ist die Unterschiedsempfindlichkeit für verschiedene statische Handflächentemperaturen zwischen 28 und 40°C gut. Unterhalb von 28°C werden dagegen bis etwa 22°C auch stark unterschiedliche Temperaturen nicht als verschieden erkannt. Erst mit beginnendem Kälteschmerz ist die Empfindlichkeit wieder verbessert. Diese Empfindlichkeitscharakteristik beim Menschen steht unterhalb von 26°C im Widerspruch zur Änderung der mittleren Impulsfrequenz von Thermorezeptoren beim Tier.

Des weiteren wird bei einer Schätzung der Reiztemperatur eine Handflächentemperatur um 37°C sowohl intra- wie auch interindividuell am genauesten der physikalischen Meßgröße zugeordnet. Oberhalb dieser Temperatur treten positive, unterhalb negative Schätzfehler auf.

Bei der Reizbeurteilung werden verschiedene Handflächen-temperaturen zwischen 25 und 38°C bei einer integralen Hauttemperatur um 35,5°C und einer Rektaltemperatur von etwa 37°C nicht mehr nach "angenehm" oder "unangenehm" unterschieden, sondern gleichermaßen als neutral eingestuft. Unterhalb dieser integralen Hauttemperatur werden bei unveränderter Rektaltemperatur aufsteigende statische Handflächentemperaturen als zunehmend angenehmer, oberhalb als zunehmend unangenehmer beurteilt.

Die im Experiment erhaltenen Reizantworten zeigen einen Bezug zu dem Lebensbereich des Wahrnehmers und den im Organismus herrschenden Verhältnissen.

VI. Literaturverzeichnis

- Aschoff, J.: Der Tagesgang der Körpertemperatur beim Menschen.
Klin.Wschr. 33, 545-551 (1955)
- Aschoff, J., Günther, B., Kramer, K.: Energiehaushalt und Temperaturregulation.
In: O.H.Gauer, K.Kramer, R.Jung, Physiologie des Menschen, Bd.2, S. 43-112. München, Berlin, Wien: Urban & Schwarzenberg 1972
- Benzinger, Th.: Human thermostat.
In: Mc Graw-Hill Yearbook of Science and Technology, edit. by D.I.Eggenberger, p. 261-264. New York: Mc Graw-Hill 1963
- Bergström, Lea, Bergström, R.M.: Zur Pathologie des Wahrnehmens. I.
Ann.Acad.Sci.fenn.V.med. 72 (1959)
- Bergström, Lea, Bergström, R.M.: Zur Pathologie des Wahrnehmens. II.
Ann.Acad.Sci.fenn.V.med. 85 (1961)
- Bergström, R.M.: Über die Struktur einer Wahrnehmungssituation und über ihr physiologisches Gegenstück.
Ann.Acad.Sci.fenn.V.med. 94 (1962)
- Boeckh, J., Jung, R., Kornhuber, H., Schmidt, R.F.: Somatische Sensibilität.
In: O.H.Gauer, K.Kramer, R.Jung, Physiologie des Menschen, Bd.11, S. 1-46 u. S. 113-129. München, Berlin, Wien: Urban & Schwarzenberg 1972

- Boring, E.G.: Sensation and perception in the history of experimental psychology, p. 463-522.
New York: Appleton-Century-Crofts 1942
- Cabanac, M.: Plaisir ou déplaisir de la sensation thermique et homéothermie.
Physiol.Behav. 4, 359 (1969)
- Thermoregulatory behavior.
In: Essays on temperature regulation, edit. by J.Bligh, R.Moore, p. 19-36. Amsterdam, London: North-Holland Publishing Company 1972
- Cabanac, M., Hildebrandt, G., Massonnet, B., Strempel, H.: A study of the nycthemeral cycle of behavioural temperature regulation in man.
J.Physiol.(Lond.) 257, 275-292 (1976)
- Cabanac, M., Massonnet, B.: Preferred hand temperature as a function of internal and mean skin temperature. Abstracts Int. Symp. Temp. Regul., p. 51. Dublin 1971
- Carterette, E.C., Friedman, M.P.: Handbook of perception, Bd. I-III.
New York: Academic Press 1973
- Deese, J.: The structure of associations in language and thought.
Baltimore, Maryland, USA: John Hopkins Press 1965
- Dykes, R.W.: Coding of steady and transient temperatures by cutaneous "cold" fibers serving the hand of monkeys.
Brain Res. 98, 485-500 (1975)

Ekman, S., Sjöberg, L.: Scaling.

Ann.Rev.Psychol. 16, 451-474 (1965)

Erickson, R.P., Poulos, D.A.: On the qualitative aspect
of the temperature sense.

Brain Res. 61, 107-112 (1973)

Fechner, G.Th.: In Sachen der Psychophysik.

Leipzig: Breitkopf & Härtel 1877

Geldard, F.A.: The human senses.

New York: John Wiley & Sons, Inc. 1972

Gertz, E.: Psychophysische Untersuchungen über die Adap-
tation im Gebiet der Temperatursinne und über ihren
Einfluß auf die Reiz- und Unterschiedsschwellen.

I. Hälfte.

Z.Sinnesphysiol. 52, 1 (1921a)

- Psychophysische Untersuchungen über die Adaptation
im Gebiet der Temperatursinne und über ihren Ein-
fluß auf die Reiz- und Unterschiedsschwellen.

II. Hälfte.

Z.Sinnesphysiol. 52, 105 (1921b)

Gibson, J.J.: Perception as a function of stimulation.

In: Psychology, a study of a science, Vol.1, edit.
by S.Koch, p. 456-501. New York: Mc Graw-Hill 1959

Gibson, J.J., Gibson, E.J.: What is learned in percep-
tual learning? A reply to professor Postman.

Psychol.Rev. 62, 447-450 (1955)

Hardy, J.D.: Thermal comfort: skin temperature and physiological thermoregulation.

In: Physiological and Behavioral Temperature Regulation, edit. by J.D.Hardy, A.P.Gagge, J.A.J. Stolwijk, p. 856-873. Springfield, Ill.: Thomas 1970

Hensel, H.: Die intracutane Temperaturbewegung bei Einwirkung äußerer Temperaturereize.
Pflügers Arch. 252, 146-164 (1950a)

- Temperaturempfindung und intracutane Wärmebewegung.
Pflügers Arch. 252, 165-215 (1950b)
- Physiologie der Thermoreception.
Ergebn.Physiol. 47, 166-368 (1952)
- Elektrophysiologie der Hautsinnessysteme unter Berücksichtigung informationstheoretischer Betrachtungen.
Nova Acta Leopoldina 37/2, 211-222 (1973a)
- Neural processes in thermoregulation.
Physiol.Rev. 53, 948-1017 (1973b)
- Temperature reception and thermal comfort.
Arch.Sci.Physiol. 27, A 359-A 370 (1973c)
- Correlations of neural activity and thermal sensation in man.
In: Sensory functions of the skin in primates, Vol.27, edit. by Y.Zotterman, p. 331-353. Oxford: Pergamon Press 1976

Hensel, H., Brück, K., Raths, P.: Homeothermic organisms.
In: Temperature and life, edit. by H.Precht, J.
Christophersen, H.Hensel, W.Larcher, p. 505-732.
Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1973

Hensel, H., Kenshalo, D.R.: Warm receptors in the nasal
region of cats.
J.Physiol. (Lond.) 204, 99-112 (1969)

Hensel, H., Witt, I.: Spatial temperature gradient and
thermoreceptor stimulation.
J.Physiol.(Lond.) 148, 180-187 (1959)

Hensel, H., Zotterman, Y.: Action potentials of cold
fibers and intracutaneous temperature gradient.
J.Neurophysiol. 14, 377-385 (1951a)

- The response of cold receptors to constant cooling.
Acta physiol.scand. 22, 96-105 (1951b)
- The persisting cold sensation.
Acta physiol.scand. 22, 106-113 (1951c)

Hildebrandt, G.: Die Koordination rhythmischer Funk-
tionen beim Menschen.
Referat zu: Verh.dtsch.Ges.imm.Med., 73.Kongr.
1967. München: J.F. Bergmann 1967

Jauhiainen, T.: Über die Vigilanz in der Sinnesphysiologie.
Ann.Acad.Sci.fenn.V.med. 139 (1969)

Jenkins, W.C.: Studies in thermal sensitivity: adaptation
with series of small circular stimulators.
J.exp.Psychol. 21, 670-677 (1937)

- Johnson, K.O., Darian-Smith, I., La Motte, C.:
Peripheral neural determinants of temperature
discrimination in man: A correlative study of
responses to cooling skin.
J.Neurophysiol. 36, 347-370 (1973)
- Kenshalo, D.R., Scott, H.A.: Temporal course of thermal
adaptation.
Science 151, 1095-1096 (1966)
- Konietzny, F., Hensel, H.: Warm fiber activity in human
skin nerves.
Pflügers Arch. 359, 265-267 (1975)
- Locke, J.: An essay concerning human understanding.
New York: reprinted 1937, p. 263 (1690)
- Maréchaux, E.W., Schäfer, K.E.: Über Temperaturempfin-
dungen bei Einwirkung von Temperaturreizen ver-
schiedener Steilheit auf den ganzen Körper.
Pflügers Arch. 251, 765-784 (1949)
- Metzger, W.: Psychologie. Die Entwicklung ihrer Grund-
annahmen seit der Einführung des Experiments,
4.Aufl.
Darmstadt: Steinkopff 1968
- Mitchell, D., Wyndham, C.H.: Comparison of weighting
formulas for calculating mean skin temperature.
J.appl.Physiol. 26, 616-622 (1969)
- Morton, J.: Interaction of information in word recog-
nition.
Psychol.Rev. 76, 165-178 (1969)

- Pollack, I.: Selected developments in psychophysics,
with implications for sensory organization.
In: Sensory communication, edit. by W.A.Rosenblith,
p. 89-98. Massachusetts: M.I.T. Press and New York,
London: John Wiley & Sons, Inc. 1961
- Postman, L.: Association theory and perceptual learning.
Psychol.Rev. 62, 438-446 (1955)
- Poulton, E.C.: The new psychophysics.
Psychol.Bull. 69, 1-19 (1968)
- Sinclair, D.: Cutaneous sensation.
London: Oxford University Press 1967
- Stevens, S.S.: Adaptational-level vs. the relativity
of judgment.
Amer.J.Psychol. 71, 633-646 (1958)
- Warmth and cold: the dynamics of sensory intensity.
J.exp.Psychol. 60, 183-192 (1960a)
 - The psychophysics of sensory function.
Amer.Sci. 48, 226-253 (1960b)
 - The surprising simplicity of sensory metrics.
Amer.Psychologist 17, 29-39 (1962)
- Ward, L.M., Lockhead, G.R.: Response system processes
in absolute judgment.
Perception and Psychophysics 2 (1b), 75-78 (1971)
- Warren, M.R., Warren, R.P.: A critique of S.S. Stevens'
"New Psychophysics".
Perceptual and Motor Skills 16, 797-810 (1963)

- Weber, E.H.: Der Tastsinn und das Gemeingefühl.
In: Handwörterbuch der Physiologie, Bd.III,2,
hrsg. von R.Wagner, S. 481-588. Braunschweig:
F. Vieweg 1846
- Wever, E.G., Zener, K.E.: The method of absolute
judgment in psychophysics.
Psychol.Rev. 35, 466-493 (1928)
- Winslow, C.-E.A., Herrington, L.P., Gagge, A.P.:
Physiological reactions of the human body to
varying environmental temperatures.
Amer.J.Physiol. 120, 1-22 (1937)
- Zotterman, Y.: Thermal sensations.
In: Handbook of Physiology, Sect. I, Neuro-
physiology, Vol. I, edit. by J.Field, p. 431-458.
Washington: American Physiological Society 1959.

Meine akademischen Lehrer waren die Herren Professoren
und Dozenten:

- in Aachen: Bleifeld, Böcher, Bronger, David, Deuticke,
Deutschmann, Dietze, Effert, Faissner, Feger,
Fucks, Gerlach, Havemann, Heiland, Hellwig,
Kammermeier, Klein, Krause, Leibfried, Ludwig,
Meixner, Müller, Naumann, Quick, Reutter,
Rodenberg, Röper, Roos, Sander, Schlögl,
Schmitz, Schöneborn, Schoenmackers, Schulten,
Stadtmüller, Stahl, Stange, Steinwachs, Tuczec,
Uhlenbusch, Vormbaum, Wagener, Weidenbruch,
Wilrich, Wollenberger, Zeller, v.d.Zypen.
- in Marburg: Amon, Aziz, Büsing, Cappeller, Dauner, Ehlers,
Erhardt, Golenhofen, Graul, Haberich, Hensel,
Herrmann, Hildebrandt, Ihm, Joseph, Karl,
v.Kraft, Lanc, Nier, Pohlen, Ritter, Schauer,
Siegert, Siegrist, Stäcker, Stroebe, Weinschenk,
Wolter.

Herrn Prof.Dr.H.Hensel gilt an dieser Stelle mein besonderer
Dank für seine wertvollen Anregungen und die großzügige
Förderung der vorliegenden Arbeit, die erst dadurch in die-
ser Form ermöglicht wurde.

Von denen, die einen Beitrag zu dieser Arbeit geleistet
haben, danke ich in besonderem Maße Frau Markert für ihre
engagierte Mitarbeit.

LEBENS LAUF

Am 13. November des Jahres 1948 wurde ich als Sohn des Beamten Adolf Beste und seiner Frau Gertrud, geb. Humpert in Hüsten geboren. Nach der Volksschule besuchte ich ab 1959 das Franz-Stock-Gymnasium in Neheim, wo ich 1967 das Reifezeugnis erwarb.

Nach anschließendem Wehrdienst und Lehrgangsaufenthalt in Hamburg studierte ich ab 1969 Physik an der RWTH Aachen. Noch vor dem Vordiplom in diesem Fach 1970/71 erfolgte eine Erweiterung des Studiums auf die Medizin unter interdisziplinären Gesichtspunkten. Die Abschluß-examen legte ich 1972, 1973 und 1974 ab.

Von 1972 bis 1974 war ich als Mitarbeiter im Sonderforschungsbereich 109 "Künstliche Organe-Modelle und Organersatz" tätig und habe mich hauptsächlich mit Fragen der Herz- und Kreislaufdynamik befaßt.

Seit 1974 betreibe ich an der Universität Marburg ein Studium der Humanbiologie in den Schwerpunkten Medizin/Physiologie und Psychologie mit dem Ziel einer interdisziplinären Promotion. Als Mitarbeiter im Sonderforschungsbereich 122 "Adaptation und Rehabilitation" befasse ich mich im weiteren Sinn mit Umweltfragen. Die vorliegende Dissertation aus dem Bereich der Temperaturwahrnehmung entstand im Laufe dieser Tätigkeit.

